

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**



PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

**Instalación de nueva red subterránea de
media tensión, centro de transformación
prefabricado de compañía de 400 kVA y red
subterránea de baja tensión para
urbanización de 40 viviendas.**

Autor: David Blanco Benito

Tutor: Miguel Eduardo Montilla D'Jesus

Leganés, Octubre de 2015



Resumen

El propósito de este proyecto es realizar un estudio detallado de la instalación eléctrica de distribución que va a dar abastecimiento eléctrico a una nueva urbanización de 40 viviendas y locales comerciales que se van a construir, para lo cual la compañía eléctrica necesita suministrar de energía eléctrica a los nuevos abonados que compondrán este nuevo complejo. Este estudio contendrá un análisis inicial de la carga prevista por los abonados de la urbanización en su conjunto, para diseñar de manera apropiada la nueva red subterránea de media tensión, el centro de transformación y la nueva red subterránea de baja tensión. Para el diseño, se realizarán los cálculos justificativos que expliquen las distintas soluciones que se adopten. El análisis de la nueva red no incluirá las instalaciones interiores receptoras del cliente ya que por su extensión supondrían material suficiente para otro proyecto nuevo. A continuación de los capítulos eléctricos, se realizará también un estudio de seguridad y salud.

La propuesta de urbanización, así como las correspondientes necesidades de suministro eléctrico no son reales, pero el procedimiento de análisis utilizado para diseñar la nueva red sí se corresponde con el seguido en el ámbito profesional para este tipo de instalaciones. Por ello se ha considerado en todo momento la normativa nacional en la materia, así como las prescripciones marcadas por la compañía suministradora.



Abstract:

The purpose of this project is to conduct a detailed study of the electrical distribution system that will supply power to a new development of 40 houses and shops that will be built, for which the power company needs to supply electricity to new subscribers that make up this new resort. This study will contain an initial analysis of the expected load by subscribers of housing development as a whole, so accordingly to design the new underground medium voltage network, the center of transformation and the new low voltage underground network. For the design, the supporting calculations to explain the various solutions adopted will be made. The analysis of the new network will not include the recipient indoor customer premises since its extension would involve enough material for a new project. Following electrical chapters, a safety and health will also be held.

The proposed development, and the corresponding power needs are not real, but the test procedure used to design the new network if it corresponds to the one followed in the professional field for this type of facility. Therefore it was considered at all times the national legislation on the matter, and the requirements set by the power supplier.



INDICE DE FIGURAS

Figura 1– Componentes potencia.....	13
Figura 2– Sección cable HEPRZ1 12/20 y 18/30. [9]	20
Figura 3– Canalización para el tendido de línea de media tensión.	23
Figura 4– Alzado PFU-3 ORMAZABAL. [5]	30
Figura 5– Esquema descriptivo prefabricado de hormigón PFU-3 (ORMAZÁBAL). [5]	31
Figura 6– Dimensiones excavación prefabricada.[5]	35
Figura 7– Elementos transformador. [6]	36
Figura 8– Elementos exteriores en detalle transformador.[6]	37
Figura 9– Núcleo magnético de Transformador.[4].....	40
Figura 10 – Arrollamientos o bobinas del Transformador.[4]	41
Figura 11– Elementos celda de línea. [7]	45
Figura 12– Compacto celdas ORMAZABAL 2L+1P. [7]	49
Figura 13-Terminal enchufable recto y terminal enchufable acodado. [14].....	50
Figura 14 - Gama de terminales de media tensión.....	51
Figura 15 – Terminación aislada CTPT. [17]	52
Figura 16- Cuadro de baja tensión CBT-EAS-1600-8. [8]	53
Figura 17- Embarrado vertical y horizontal.	54
Figura 18– Caja de seccionamiento de servicio.....	56
Figura 19– Picas de cobre para puesta a tierra.	56
Figura 20- Caja de seccionamiento de Protección.....	57
Figura 21– Foso de recogida de aceite.....	58
Figura 22– Protección del transformador.	59
Figura 23- Rejillas de ventilación.	60
Figura 24- Denominación cable y elementos conductor XZ1. (NI 56.37.01)[20].....	63
Figura 25-Tubo corrugado rojo de 160 mm de diámetro.	68
Figura 26- Sección estándar detallada de tubos para nueva canalización.[11]	68
Figura 27- Marco y tapa M2T2. [11]	70
Figura 28 – Caja general de protección.....	73
Figura 29– Caja de protección y medida.	74
Figura 30– Distribución mediante esquema TT.....	97
Figura 31– Fusible normalizado 250 A.	103



INDICE DE TABLAS

Tabla 1- Coeficientes de simultaneidad para viviendas [1].	8
Tabla 2- Reparto de cargas por bloque.	11
Tabla 3- Tensiones normalizadas en España. [4]	15
Tabla 4- Tensiones de servicio normalizadas. [4]	16
Tabla 5- Características cable HEPRZ-1 12/20 1x240 mm ²	19
Tabla 6- Dimensiones zanja para canalización bajo acera. [9]	21
Tabla 7- Dimensiones zanja para canalización bajo calzada. [9]	22
Tabla 8- Empalmes rectos unipolares normalizados.	24
Tabla 9- Condiciones trabajo PFU-3.[5]	32
Tabla 10- Características eléctricas transformador.	42
Tabla 11- Dimensiones transformador.	42
Tabla 12- Tipos de acometidas según Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. [1]	65
Tabla 13- Asignación de líneas, cajas y cargas.	66
Tabla 14- Sección de canalización para cuatro y seis tubos. [11]	69
Tabla 15- Intensidades máximas admisibles en función de la sección de conductor. [3]	77
Tabla 16- Coeficientes en función de número de ternas y distancia entre ellas. [3]	78
Tabla 17- Coeficientes en función de la profundidad de los cables.	79
Tabla 18- Valores de Tensiones de Contacto y Paso admisibles para un tiempo de eliminación del defecto de 0.2 segundos [25].	91
Tabla 19- Tipología de utilización de los electrodos en función de la resistividad equivalente del terreno y de la intensidad de defecto a tierra.	95
Tabla 20- Distancia de separación entre puestas a tierra de protección y servicio.	96
Tabla 21- Valores resistencia y reactancia para la sección de 240 mm ² .	98
Tabla 22- Intensidades máximas admisibles.	98
Tabla 23- Coeficiente de reducción de intensidad admisible en función de circuitos agrupados.	99
Tabla 24- Fusibles normalizados en función de la sección de conductor.	102
Tabla 25- Longitud máxima de cable protegida contra cortocircuitos sobrecargas.	103
Tabla 26- Cálculos de protección para las nuevas líneas de baja tensión.	105



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	MOTIVACIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO	1
1.2	ESTRUCTURA DEL PROYECTO	2
1.3	NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN.....	4
1.4	EMPLAZAMIENTO	5
2	PREVISIÓN DE CARGAS PARA SUMINISTRO DE VIVIENDAS EN BAJA TENSIÓN.....	6
3	CALCULO JUSTIFICATIVO DE LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR	12
4	MEMORIA	14
4.1	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE MEDIA TENSIÓN	14
4.1.1	Introducción	14
4.1.2	Características de la red de media tensión	17
4.1.3	Conductores	17
4.1.4	Línea de media tensión.....	20
4.1.5	Canalización.....	21
4.1.6	Accesorios: Empalmes y Terminales.....	23
4.1.7	Puestas a tierra	26
4.1.8	Protecciones	26
4.2	DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	27
4.2.1	Introducción	27
4.2.2	Edificio prefabricado de hormigón	29
4.2.3	Transformador	36
4.2.4	Celdas de alta tensión.....	42
4.2.5	Interconexión celda-transformador	49
4.2.6	Interconexión transformador-cuadro de baja tensión	51
4.2.7	Cuadro de baja tensión	52
4.2.8	Puesta a tierra de servicio.....	56
4.2.9	Puesta a tierra de protección	57
4.2.10	Sistema de acera perimetral	58
4.2.11	Material de seguridad y primeros auxilios.....	58
4.2.12	Instalaciones secundarias.....	58



4.3	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN	62
4.3.1	Introducción	62
4.3.2	Características de la red de baja tensión	62
4.3.3	Conductores	63
4.3.4	Líneas de baja tensión.....	64
4.3.5	Canalización.....	67
4.3.6	Cajas generales de protección.....	70
4.3.7	Puesta a tierra del neutro	74
4.3.8	Accesorios	75
5	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	76
5.1	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN	76
5.1.1	Categoría de la red.....	76
5.1.2	Tensión asignada	76
5.1.3	Intensidad máxima de la red	76
5.1.4	Intensidad máxima de cortocircuito	79
5.1.5	Caída de tensión	81
5.2	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	82
5.2.1	Intensidad de alta tensión.....	82
5.2.2	Intensidad de baja tensión.....	82
5.2.3	Cortocircuitos	83
5.2.4	Dimensionado del embarrado de media tensión.....	84
5.2.5	Protección contra sobrecargas y cortocircuitos	85
5.2.6	Interconexión de media tensión.....	86
5.2.7	Interconexión de baja tensión.....	86
5.2.8	Dimensionado ventilación.....	87
5.2.9	Dimensiones del pozo apagafuegos	87
5.2.10	Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.....	87
5.3	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA RED DE BAJA TENSIÓN	97
5.3.1	Introducción	97
5.3.2	Justificación de la sección de los conductores	97
5.3.3	Protección de sobreintensidad.....	102
6	ESTUDIO BASICO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	107



Instalación de nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado de compañía de 400 kVA y red subterránea de baja tensión para urbanización de 40 viviendas

6.1	OBJETO.....	107
6.2	CARACTERISTICAS GENERALES DE LA OBRA	108
6.3	RIESGOS LABORABLES EVITABLES COMPLETAMENTE.....	109
6.4	RIESGOS LABORABLES NO ELIMINABLES COMPLETAMENTE.....	109
6.5	TRABAJOS LABORABLES ESPECIALES	113
6.6	INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA	113
6.7	PREVISIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES	114
6.8	NORMAS DE SEGURIDAD APLICABLES EN LA OBRA	114
7	<u>PRESUPUESTO.....</u>	<u>115</u>
8	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>119</u>
9	<u>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>120</u>
10	<u>APÉNDICE.....</u>	<u>122</u>



1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO

En el presente proyecto se va a diseñar la red eléctrica de distribución, que va a dar servicio a una nueva urbanización a construir en Majadahonda, en la C/ Cementerio s/n, con una dotación de 40 viviendas. La urbanización contará con 4 bloques de viviendas, además de locales comerciales y los respectivos servicios generales y garajes.

Para dar suministro eléctrico a esta nueva dotación residencial, se va a definir una nueva red subterránea de media tensión que entroncará en la red existente de media tensión. Esta nueva red suministrará de energía eléctrica a un nuevo centro prefabricado de transformación de superficie a la tensión de 20 kV, a situar frente a la nueva urbanización. Esta nueva instalación será cedida a la compañía distribuidora, IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA, S.A.U. (en adelante IBERDROLA), por lo tanto hay que seguir todas sus prescripciones incluidas en sus manuales técnicos. La propiedad y mantenimiento de la citada instalación será cedida, por lo tanto, a Iberdrola.

Del centro de transformación partirán, de su cuadro de baja tensión, las nuevas líneas de baja tensión, que con una tensión de 400 V, suministrarán a las nuevas cajas generales de protección a situar en los distintos límites de finca. No será objeto de este proyecto el estudio de las instalaciones de enlace que unen las cajas generales de protección con las instalaciones interiores o receptoras del usuario.

En el presente proyecto se justificarán las soluciones adoptadas mediante los cálculos pertinentes, desde el estudio de la sección de cable de media tensión solicitada por Iberdrola, pasando por la justificación de la potencia del nuevo transformador, finalizando con el diseño de la nueva red subterránea de baja tensión que mediante las nuevas líneas accederá a las cajas generales de protección.

La estructura del proyecto consistirá, en primer lugar, en una descripción de las nuevas instalaciones de media tensión, centro de transformación y baja tensión. Posteriormente, en el apartado de cálculos correspondiente a cada instalación, se justificarán las soluciones adoptadas. Se terminará con un estudio básico de seguridad y salud, además de un presupuesto para la ejecución de los trabajos. Para finalizar, se incluirá un apartado de conclusiones.

Antes de definir la estructura del proyecto en sus distintos apartados, hay que indicar que para la redacción del presente proyecto se han utilizado, principalmente, los distintos manuales y normas de Iberdrola, el Reglamento electrotécnico de baja tensión y el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. También se han utilizado manuales de los principales fabricantes de los distintos elementos que componen la nueva instalación.



1.2 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto se estructura en diez capítulos cuyos contenidos se detallan a continuación. Estos capítulos son los necesarios para el estudio y análisis de forma detallada de la nueva instalación.

CAPÍTULO 1: Introducción.

En este capítulo se describe la motivación y objeto del proyecto, describiendo de manera sintetizada los distintos elementos que van a componer la nueva instalación. También se enumeran los reglamentos y normativas vigentes para el diseño de este tipo de redes, así como la ubicación de la nueva urbanización a construir.

CAPÍTULO 2: Previsión de cargas para suministro de viviendas en baja tensión.

En este capítulo se hace un estudio de la carga que demanda la nueva dotación residencial. Definir este aspecto es el paso previo para diseñar el conjunto de la instalación.

CAPÍTULO 3: Cálculo justificativo de la potencia del transformador.

En este capítulo se define la potencia del transformador, paso indispensable para poder determinar el tipo de centro de transformación a ejecutar.

CAPÍTULO 4: Memoria.

En este capítulo se describirán con profundidad los distintos elementos que van a configurar la nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación y red subterránea de baja tensión.

CAPÍTULO 5: Cálculos justificativos.

En este capítulo se realizarán los cálculos necesarios para justificar el diseño de las diferentes instalaciones.

CAPÍTULO 6: Estudio básico de seguridad y salud.

En este capítulo se detallan las Normas de Seguridad y Salud mínimas a seguir y tener en cuenta durante para la ejecución de los trabajos.

CAPÍTULO 7: Presupuesto.

En este capítulo se realiza un estudio del coste que supone la ejecución de la nueva instalación diferenciando por partidas.



CAPÍTULO 8: Conclusiones.

En este capítulo se hace un comentario final a la vista de los resultados obtenidos durante el estudio de la instalación.

CAPÍTULO 9: Referencias y bibliografía.

Se enumeran todas las normativas, manuales y distinto material utilizado para elaborar el presente proyecto.

CAPÍTULO 10: Apéndice.

En este capítulo se detallan todos los planos que describen la instalación, así como esquemas unificares para describir de manera más gráfica la instalación.



1.3 NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN

Para la elaboración de este proyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa, y serán de aplicación los Reglamentos y Normas vigentes en España para este tipo de instalaciones, particularmente:

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITCRAT 01 a 23.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09, aprobado por Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero de 2008, y publicado en el B.O.E. nº 68 del 19-03-2008.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto de 2002, y publicado en el B.O.E. nº 224 del 18-09-2002 y actualizado según Real Decreto 560/2010.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre de 2000, por el que se regulan las Actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de Autorización de Instalaciones de Energía Eléctrica, publicado en el B.O.E. del 27-12-2000.
- Reglamento (UE) 548/2014 de la Comisión, de 21 de mayo de 2014, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los transformadores de potencia pequeños, medianos y grandes.
- REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Normas UNE y recomendaciones UNESA que sean de aplicación.
- Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados.
- Ordenanzas municipales del ayuntamiento donde se ejecutará la obra.
- Condicionados que puedan ser emitidos por organismos afectados por las instalaciones.
- Normas particulares de la compañía suministradora (IBERDROLA)
- Cualquier otra normativa y reglamentación de obligado cumplimiento para este tipo de instalaciones.



1.4 EMPLAZAMIENTO

La localización de la nueva urbanización, objeto del suministro eléctrico a estudio en este Proyecto, se encuentra en Majadahonda, en la calle Cementerio s/n. Se construirán los nuevos bloques sobre un solar, considerado por el Ayuntamiento de Majadahonda como urbanizable, contando con las licencias y permisos pertinentes para la ejecución de los distintos trabajos con el fin de abastecer de energía eléctrica a las nuevas edificaciones.



2 PREVISIÓN DE CARGAS PARA SUMINISTRO DE VIVIENDAS EN BAJA TENSIÓN

Tal como se ha introducido, en el presente Proyecto se va a estudiar el suministro de energía eléctrica a una nueva dotación residencial compuesta por 4 bloques (portales) de 10 viviendas cada uno, en una urbanización. Además, en la fachada de los bloques, los cuales tendrán parte de su fachada limitando con la vía pública, se va a construir 1 local comercial de unas dimensiones de 150 m², uno por cada portal, teniendo los 4 bloques una disposición idéntica.

Iberdrola solicita que se haga una previsión de cargas para, en función de ello, diseñar el nuevo centro de transformación en sus aspectos fundamentales como son la potencia del transformador/es a instalar y el número de salidas a ocupar del cuadro de baja tensión.

Para el cálculo de la carga solicitada para el suministro de los nuevos bloques de viviendas y locales comerciales hay que atenerse a los criterios indicados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. [1]

Para el caso que se está estudiando se deben tener en cuenta las indicaciones marcadas por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en su ITC-BT-10 -[1]. El Reglamento establece la siguiente clasificación de los lugares de consumo entre:

- 1) Edificios destinados principalmente a viviendas
- 2) Edificios comerciales o de oficinas
- 3) Edificios destinados a una industria específica
- 4) Edificios destinados a una concentración de industrias

El Proyecto se centra en el caso 1: Edificios destinados principalmente a viviendas. Para este caso particular el Reglamento fija el cálculo de la carga total como:

“La carga total correspondiente a un edificio destinado principalmente a viviendas resulta de la suma de: la carga correspondiente al conjunto de viviendas, de los servicios generales del edificio, de la correspondiente a los locales comerciales y de los garajes que forman parte del mismo”

$P_{TOTAL} = P_{VIV.} + P_{SG} + P_{LC} + P_{VIV}$	(1)
--	-----

A continuación se va a realizar el cálculo de la carga total en función de los apartados reseñados en la anterior ecuación. Los 4 bloques de viviendas tendrán la misma disposición, siendo la potencia solicitada la misma, por ello se realizará el cálculo para 1 bloque, realizándose el cálculo exactamente igual para los otros 3 bloques. Tras los cálculos se adjunta una tabla con la previsión de carga para los cuatro edificios en conjunto.



CARGA CORRESPONDIENTE AL CONJUNTO DE VIVIENDAS:

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión divide el grado de electrificación en las viviendas en dos tipos [1]:

- Grado de electrificación básica (Potencia $\geq 5,750$ KW a 230 V): necesaria para la cobertura de las posibles necesidades de utilización primarias sin necesidad de obras posteriores de adecuación. Debe permitir la utilización de los aparatos eléctricos de uso común en una vivienda.
- Grado de electrificación elevada (Potencia $\geq 9,200$ KW): Es la correspondiente a viviendas con una previsión de utilización de aparatos electrodomésticos superior a la electrificación básica o con previsión de utilización de sistemas de calefacción eléctrica o de acondicionamiento de aire o con superficies útiles de la vivienda superiores a 160 m^2 , o con cualquier combinación de los casos anteriores.

La nueva urbanización dispondrá de portales de 10 viviendas, considerándose que todas las viviendas tienen un grado de electrificación elevada, con una potencia solicitada de 9,2 kW por vivienda. Este es el grado de electrificación más común dentro de la vivienda de nueva construcción en bloques de viviendas.

El Reglamento [1] indica que la carga de un conjunto de viviendas que reciben suministros desde una misma caja general de protección se obtendrá multiplicando la media aritmética de las potencias máximas previstas en cada vivienda, por el coeficiente de simultaneidad indicado en la tabla siguiente, según el número de viviendas.



Nº Viviendas (n)	Coefficiente de Simultaneidad
1	1
2	2
3	3
4	3,8
5	4,6
6	5,4
7	6,2
8	7
9	7,8
10	8,5
11	9,2
12	9,9
13	10,6
14	11,3
15	11,9
16	12,5
17	13,1
18	13,7
19	14,3
20	14,8
21	15,3
n>21	15,3+(n-21).0,5

Tabla 1- Coeficientes de simultaneidad para viviendas [1].

Al disponerse 10 viviendas por bloque el coeficiente de simultaneidad tendría un valor de 8,5, por lo tanto la carga solicitada para un bloque de viviendas sería la siguiente:

$$PVIV.BLOQUE = COEF. PVIVENDA = 8,5 \cdot 9,2 = 78,2 \text{ kW} \quad (2)$$

CARGA CORRESPONDIENTE A LOS SERVICIOS GENERALES:

El Reglamento de baja tensión [1] establece su cálculo como la suma de la potencia prevista en ascensores, aparatos elevadores, centrales de calor y frío, grupos de presión, alumbrado de portal, caja de escalera y espacios comunes y en todo el servicio eléctrico general del edificio sin aplicar ningún factor de reducción por simultaneidad (factor de simultaneidad = 1). Dividiendo por partidas e incluyendo todos los elementos anteriores, se tendría:

$$P_{SG} = P_{ASCENSOR} + P_{TRASTEROS} + P_{GRUPO DE BOMBEO} + P_{ZONAS COMUNES} + P_{USOS VARIOS} \quad (3)$$

Realizando el cálculo de estas partidas para efectuar el cálculo de todo el apartado de carga correspondiente a los servicios generales (P_{SG}), se tiene:



**CARGA ASCENSOR:*

Se supondrá la instalación de un ascensor de tipo ITA-2, según la Norma Tecnológica de la Edificación ITE-ITA [28]. Las características de este tipo de ascensor son:

- Carga: 400 Kg
- N° personas: 5
- Velocidad: 1,00 m/s

Este tipo de ascensor tiene una solitud de potencia de 7,5 kW.

**CARGA TRASTEROS:*

Se ha estipulado que para su suministro eléctrico se precisan de 4,0 kW.

**CARGA GRUPO DE BOMBEO:*

El fabricante indica que el grupo de bombeo necesita una reserva de 5,0 kW de potencia.

**CARGA ZONAS COMUNES:*

Para el alumbrado del portal y zonas comunes se va a instalar alumbrado de incandescencia.

Al tener las zonas comunes unas dimensiones de 400 m² y reservando una potencia de 15 W/m². La carga para el alumbrado de las zonas comunes sería el siguiente:

$P_{\text{ZONAS COMUNES}} = \text{SUPERF. ZONAS COMUNES} \cdot 15 = 400 \cdot 15 = 6,0 \text{ Kw}$	(4)
--	-----

**CARGA USOS VARIOS:*

Para otro tipo de usos se ha realizado una previsión de potencia de 3,8 KW.

Por lo tanto el cálculo total para la carga de los servicios generales por bloque quedaría como:

$P_{\text{SG}} = 7,5 + 4,0 + 5,0 + 6,0 + 3,8 = 26,3 \text{ kW}$	(5)
---	-----

CARGA CORRESPONDIENTE A LOS LOCALES COMERCIALES:

Como se ha explicado, cada bloque tiene reservado un espacio para la instalación de un local comercial de 150 m².

El cálculo de carga para este tipo de locales según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión[1] se realiza con el siguiente criterio: "Se calculará considerando un mínimo de 100 W



por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 3.450 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1". Por lo tanto:

$$P_{\text{LOCAL COMERCIAL}} = \text{SUPERF. LOCAL COMERCIAL} \cdot 100 \text{ W/m}^2 = 150 \cdot 100 = 15,0 \text{ kW} \quad (6)$$

CARGA CORRESPONDIENTE A LOS GARAJES:

El Reglamento [1] establece que se calculará considerando un mínimo de 10 W por metro cuadrado y planta para garajes de ventilación natural y de 20 W para los de ventilación forzada, con un mínimo de 3.450W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

En este caso se dispone de un garaje de una planta por bloque, independientes unos de otros. Se van a considerar garajes con ventilación forzada y la instalación de un sistema de protección contra incendios PCI. Por lo tanto, la demanda de carga por garaje, para unas dimensiones de 500 m² sería de:

$$P_{\text{GARAJE}} = P_{\text{GARAJE V.F.}} + P_{\text{PCI}} = (500 \cdot 20) + 5000 = 15,0 \text{ kW} \quad (7)$$

Una vez realizados los cálculos para todos los apartados del sumatorio, la previsión de carga para cada bloque quedaría como:

$$P_{\text{TOTAL}} = P_{\text{VIV.}} + P_{\text{SG}} + P_{\text{LC}} + P_{\text{VIV}} = 78,2 + 26,3 + 15,0 + 15,0 = 134,5 \text{ kW} \quad (8)$$

Además habría que realizarse una reserva de 15 KW para una línea de socorro, tal como nos solicita el Ayuntamiento de Majadahonda que se instale, por razones de seguridad y para uso en situaciones de emergencias.

Con la previsión de carga total ya calculada para toda la urbanización, incluyendo los cuatro portales y la línea de socorro, se puede determinar la potencia del transformador que se necesita para el suministro de toda la dotación y por extensión se podrá diseñar el centro de transformación de compañía con todos los elementos que lo componen.

Resumiéndose todos los cálculos en una tabla y dividiendo por portales, se tendrían la siguiente previsión de carga para toda la urbanización:



Instalación de nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado de compañía de 400 kVA y red subterránea de baja tensión para urbanización de 40 viviendas

BLOQUE	Nº VIVIENDAS	COEF. SIMULTANEIDAD	POTENCIA VIVIENDA (kW)	CARGA VIVIENDAS (kW)	CARGA SERVICIOS GENERALES (kW)	CARGA LOCALES COMERCIALES (Kw)	CARGA GARAJE (Kw)	CARGA TOTAL (kW)
1	10	8,5	9,2	78,2	26,3	15,0	15,0	134,5
2	10	8,5	9,2	78,2	26,3	15,0	15,0	134,5
3	10	8,5	9,2	78,2	26,3	15,0	15,0	134,5
4	10	8,5	9,2	78,2	26,3	15,0	15,0	134,5
LÍNEA SOCORRO								15,0
							Σ CARGA TOTAL	553,0

Tabla 2- Reparto de cargas por bloque.



3 CALCULO JUSTIFICATIVO DE LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR

Con los valores de carga calculados en el capítulo anterior para cada bloque y tipo de suministro, tal como se ha indicado, se podrá determinar la potencia del transformador para proporcionar la energía eléctrica de la nueva urbanización, permitiendo diseñar todos los elementos que componen el centro de transformación, objeto de estudio del presente proyecto.

La potencia total del transformador (PTt) se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$PTt = PTt(viviendas) + PTt (locales comerciales) \quad (9)$$

Donde:

PTt = Potencia total de Transformador (kVA)

Diferenciando por tipo de suministro:

- Uso vivienda:

$$PTt(kVA)(viviendas) = \frac{\Sigma PBT(kW) \times 0,4}{0,9} \quad (10)$$

- Uso comercial:

$$PTt(kVA)(uso comercial) = \frac{\Sigma PBT(kW) \times 0,6}{0,9} \quad (11)$$

Donde:

PBT = Potencia prevista para cada uno de los usos, expresada en kW.

Los valores de carga calculados en el anterior apartado se corresponden a la Potencia activa demandada, trabajándose en kW (es la potencia en que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo; los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc.), pero la potencia del transformador se define con su valor correspondiente a la Potencia aparente (magnitud de la potencia aparente compleja),

trabajando en kVA como unidad de cálculo, siendo este el valor de referencia con el que se comercializan estos transformadores. Gráficamente se puede ver las distintas componentes de potencia, remarcando que para definir la potencia de un transformador se proporciona la Potencia aparente como valor de referencia [29].



Figura 1– Componentes potencia.

Siendo PBT = Potencia prevista para cada uno de los usos, expresada en kW, determinada en el capítulo “PREVISIÓN DE CARGAS PARA SUMINISTRO DE VIVIENDAS EN BAJA TENSIÓN”, y que son las siguientes:

PVIVIENDAS= (78,2 x 4 + 26,3 x 4 + 15,0 x 4 + 15,0) = 493,0 kW	(12)
PUSO COMERCIAL = (15,0x4)=60,0 kW	(13)

La potencia total prevista se obtendrá aplicando los valores obtenidos mediante las expresiones anteriores junto a las ecuaciones indicadas al comienzo de este capítulo:

$$PTt(kVA) = \frac{\Sigma PBT_{viviendas}(kW) \times 0,4 + \Sigma PBT_{uso comercial}(kW) \times 0,6}{0,9} =$$

$$PTt(kVA) = \frac{493,0 \times 0,4 + 60,0 \times 0,6}{0,9} = 259,11 \text{ kVA} \quad (14)$$

A la vista del valor calculado, en función de la previsión de carga solicitada, se proyecta el diseño de un centro de transformación con una máquina (transformador) de 400 kVA. Con el transformador proyectado se cubre toda la demanda de potencia solicitada. Realizándose el balance entre la potencia disponible del transformador y la potencia necesaria, el centro de transformación tendría un porcentaje de ocupación de potencia del 64,78%, pudiéndose realizar más suministros a nuevos abonados. Incluso quedaría la posibilidad de una ampliación de potencia de 400 a 630 kVA con un nuevo transformador, aumentando aún más la capacidad del centro de transformación. El valor de potencia reactiva disponible sería de 360 KVAR.



4 MEMORIA

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE MEDIA TENSIÓN

4.1.1 Introducción

Un sistema eléctrico es el conjunto formado por las centrales generadoras de energía eléctrica, las estaciones y subestaciones de transformación, así como las de distribución e interconexión, y las líneas de transporte de energía eléctrica.[4]

De esta manera un sistema eléctrico se podría dividir en tres subsistemas:

- Subsistema de producción: Lo constituye el conjunto de todas las centrales generadoras de energía eléctrica (hidroeléctrica, térmica, nuclear, eólica,...) cuyo objetivo es generar la potencia eléctrica que necesita un país.
- Subsistema de transporte: Se inicia en las estaciones transformadoras elevadoras de las centrales generadoras y, a través de las líneas de transporte de muy alta tensión (MAT), llega a las estaciones de distribución. Desde estas, la energía eléctrica se dirige a las estaciones transformadoras reductoras.
- Subsistema de distribución: Es el último eslabón del sistema eléctrico y está formado por las redes primarias de distribución, las estaciones transformadoras de distribución y las redes secundarias de distribución.

El objeto de estudio en el presente proyecto se centra en el subsistema de distribución y dentro del mismo en las redes secundarias de distribución, que incluyen las líneas de media tensión que desde las subestaciones transformadoras llegan a los centros de transformación, para que posteriormente partan desde los centros las líneas de baja tensión que enlazando con las acometidas de los edificios darán servicio al usuario final, por ello se le denomina red pública de distribución.

El Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión [2], establece el límite de línea eléctrica de alta tensión trifásica como "Todas aquellas líneas de corriente alterna trifásica a 50 Hz de frecuencia, cuya tensión nominal entre fases sea superior a 1 kV". También clasifica en su artículo 3º las líneas de alta tensión en tres categorías:

1ª categoría: Líneas de tensión nominal superior a 66 kV.

2ª categoría: Líneas cuya tensión nominal está comprendida entre 66 y 30 kV, ambas inclusive.

3ª categoría: Líneas con tensiones nominales inferiores a 30 kV o iguales o superiores a 1 kV.



Categoría de la línea	Tensión nominal de la red (U_n) kV	Tensión más elevada de la red (U_0) kV
3.ª	3	3,6
	6	7,2
	10	12
	15	17,5
	20*	24
2.ª	25	30
	30	36
	45	52
	66*	72,5
	110	123
1.ª	132*	145
	150	170
	220*	245
	400*	420
*Tensiones de uso preferente en redes eléctricas de compañía.		

Tabla 3- Tensiones normalizadas en España. [4]

Teniéndose en cuenta la clasificación que realiza el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas [2], a nivel práctico se realiza una subdivisión dentro de la alta tensión entre media y alta tensión, siendo esta última subdivisión con la que se trabaja con las compañías suministradoras de energía eléctrica. A continuación se presenta un cuadro con las tensiones de servicio normalizadas tanto para el subsistema de transporte como para el de distribución:



Tipo	Tensión de servicio (V)	Uso
Baja tensión (BT)	127 240 400	Producción y distribución
Media tensión (MT)	3 000 6 000 10 000 15 000 20 000 25 000	Producción y distribución
Alta tensión (AT)	30 000 45 000 66 000 110 000	Transporte y distribución
Muy alta tensión (MAT)	132 000 150 000 220 000 400 000	Transporte

Tabla 4– Tensiones de servicio normalizadas. [4]

El suministro de tensión por parte de Iberdrola para la instalación en estudio se producirá a una tensión de 20 kV (denominándose en lo sucesivo como media tensión) para las líneas que dan servicio al centro de transformación, produciéndose en baja tensión para las líneas (400V) que saldrán del cuadro de baja tensión del centro de transformación y que llegan hasta las cajas generales de protección.

Para consumos domésticos e industriales con baja potencia de contratación ($P < 350$ kW) el suministro de energía se realiza en baja tensión (400/230 V), siendo más rentable económicamente para el cliente final el abastecimiento en media tensión para necesidades mayores de potencia. Para el suministro de viviendas y locales comerciales, como ocurre en esta instalación, la distribución de energía eléctrica se producirá en baja tensión.

En función de las necesidades de potencia en una determinada zona, las compañías suministradoras de energía realizan centros de transformación de tipo compañía, propiedad por tanto de la compañía, para desde los mismos alimentar con nuevas líneas de baja tensión que llegaran a los consumidores finales (el suministro de energía del presente proyecto). En el caso de que, como se ha indicado anteriormente, el cliente final precise de un suministro de energía en media tensión la compañía le solicita la realización de un centro de transformación de tipo abonado, cuya propiedad y mantenimiento pertenecen al cliente.



Por último, para completar esta introducción, reseñar que la distribución de los centros de transformación y las líneas de media tensión, que parten de las subestaciones, pueden tener varios esquemas con mayor o menor complejidad, a criterio de la compañía suministradora en función de: superficie de la zona, demanda de potencia y tipo de conexión a la red. Los esquemas más comunes son [4]:

- Red lineal: La constituye una línea de distribución en media tensión con diez centros de transformación como máximo.
- Red en anillo: Está formada por una línea de distribución en media tensión que se cierra sobre sí misma (anillo) con nueve centros de transformación como máximo.
- Red en huso: Constituida como máximo por seis líneas de distribución en media tensión conectadas por un extremo a una subestación o un centro de reparto, y por otro, a un centro de reflexión. Cuenta con diez centros de transformación como máximo por línea de distribución de media tensión. Está formada por unos o dos circuitos cero (también llamadas líneas de socorro o interconexión), los cuales unen en los extremos de la red.

4.1.2 Características de la red de media tensión

La empresa que dará abastecimiento eléctrico a la instalación, como ya se ha indicado en anteriores apartados es, Iberdrola. Este se realizará a partir de la red de distribución subterránea de media tensión existente en la zona, tal y como puede comprobarse en los planos que se adjuntan, desde la cual se entroncará el nuevo centro de transformación.

Según el manual técnico de Iberdrola MT 2.31.01 "Proyecto tipo para líneas subterráneas de AT hasta 30 kV" [9] las características principales de la red de suministro son las siguientes:

Clase de corriente..... Alterna trifásica
Frecuencia..... 50 Hz
Tensión nominal..... 20 kV
Tensión más elevada para el material...24 kV
Categoría de la red (Según UNE 211435).Categoría A

4.1.3 Conductores

La nueva línea de media tensión, formada por dos tramos, que empalmará en la red de media tensión existente, estará constituida por cable subterráneo con conductores unipolares de aluminio tipo HEPRZ1 aislados para una tensión de 12/20 kV y de sección 3(1x240) mm² en canalización subterránea bajo tubo, siendo la carga máxima de transporte de 345 A, según especificaciones de Iberdrola en su manual técnico 2.31.01 [9], para cable HEPRZ-1 12/20 kV 3x(1x240) mm² Al +H16 en canalización entubada. La denominación de este conductor según



Norma Iberdrola NI 56.43.01 de Iberdrola [12] es HEPRZ1 12/20 1x240 K Al + H16. De manera que este cable estará formado por tres conductores unipolares de 240 mm² de sección.

La razón de utilizar cable con esta sección es la preferencia de la compañía de utilizar cable de 240 mm² para las nuevas líneas de media tensión por homogeneizar y modernizar su red subterránea de media tensión.

Estos cables se designarán mediante las indicaciones siguientes [12]:

- Relativo a tipo constructivo:
 - HEPR. Aislamiento: Etileno propileno de alto módulo.
 - Z1. Cubierta. Compuesto de poliolefina.
- Relativo a su tensión asignada: U0/U en kV: 12/20 ó 18/30.
- Relativo al conductor: unipolar, 1.
- Relativo a la sección en mm².
- Relativo a la forma del conductor: circular compacta, K.
- Relativo a la naturaleza del conductor: aluminio, Al.
- Relativo a la pantalla: Sección en mm² de la pantalla metálica, precedida del signo + y la letra H.

Las principales características de estos materiales, según manual de Iberdrola [9] MT 2.31.01, son las siguientes:

- Tensión nominal: 12/20 kV
- Tensión más elevada: 24 kV
- Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo: 125 kV
- Tensión soportada nominal de corta duración a frec. Industrial: 50 kV

Los conductores utilizados estarán debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalan y tendrán resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos [3].

Los empalmes y conexiones de los conductores subterráneos se efectuarán siguiendo métodos o sistemas que garanticen una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento.



Estos cables, de aislamiento de dieléctrico seco, cumplirán con la Norma de Iberdrola NI 56.43.01 [12], siendo sus características esenciales las siguientes:

- Conductor: Aluminio compacto, sección circular, clase 2, UNE 60228
- Pantalla sobre el conductor: Capa de mezcla semiconductor aplicada por extrusión.
- Aislamiento: Mezcla a base de etileno propileno de alto módulo (HEPR)
- Pantalla sobre el aislamiento: Una capa de mezcla semiconductor pelable no metálica aplicada por extrusión, asociada a una corona de alambre y contraespira de cobre.
- Cubierta: Compuesto termoplástico a base de poliolefina y sin contenido de componentes clorados u otros contaminantes.

Algunas otras características importantes son:

Sección (mm ²)	Tensión Nominal (kV)	Resistencia Máx. a 105°C (Ω /km)	Reactancia por fase (Ω /km)	Capacidad (μ F/km)
240	12/20	0,169	0,105	0,453

Tabla 5– Características cable HEPRZ-1 12/20 1x240 mm²

Temperatura máxima en servicio permanente: 105°C

Temperatura máxima en cortocircuito t < 5s: 250°C

Viendo una sección de cable se pueden ver los distintos elementos que componen estos conductores:

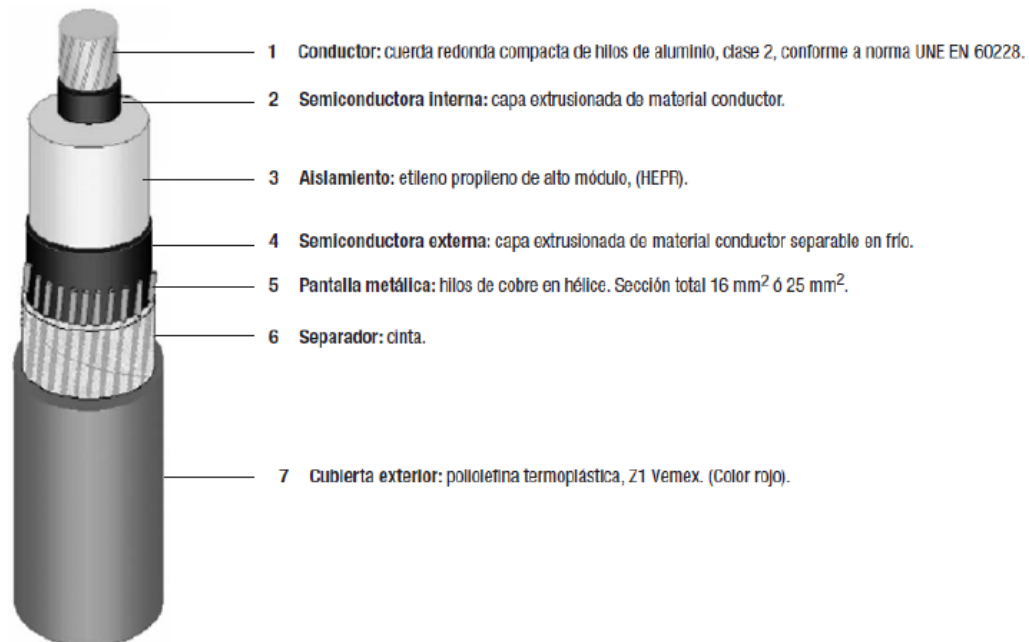


Figura 2– Sección cable HEPRZ1 12/20 y 18/30. [9]

4.1.4 Línea de media tensión

La nueva línea de media tensión, tendida con cable HEPRZ1 12/20 3(1x240) K Al + H16, tendrá su origen en la red de media tensión existente, que se encuentra en la acera opuesta a la situación del nuevo centro de transformación, bajo canalización existente. Para entroncar el nuevo centro de transformación dentro del anillo de centros de transformación con origen en la subestación correspondiente se realizarán dos juegos de empalmes, de manera que la nueva línea se tenderá hasta conectar con la celda de línea del transformador mediante un juego de terminales, saliendo de la otra celda de línea y regresando a la red existente, tal como se indica en los planos.

La longitud de la nueva línea de media tensión será de 46 metros, en dos tramos de 23 metros, incluyendo la zona que abarca el centro de transformación desde los pasamuros hasta la celda de línea y a la inversa para el regreso de la línea en su segundo tramo.

4.1.5 Canalización

La nueva canalización, que permitirá el tendido de la línea de media tensión, tendrá una longitud de 13 metros desde el punto en el que se realizan los empalmes en la acera opuesta al centro de transformación, hasta el mismo centro de transformación. Para ello cruzará transversalmente la calzada que separa las dos aceras.

Estará constituida por un tramo de cruce de calzada de 7 metros de longitud y otros 6 metros en acera, comprendidos entre la acera en la que se realizan los empalmes y la acera en la que se encuentra en centro de transformación hasta acceder a los pasamuros, tal como se refleja en el plano N° 3.

Como se explicará más adelante, al igual que en el capítulo de la descripción de baja tensión, el tubo utilizado para la canalización de media tensión, según norma Iberdrola en su MT 2.51.01 [11], tanto en media tensión como en baja se realizará con tubos confeccionados en plástico de doble pared, corrugados exteriormente y lisos en su interior, fabricados en polietileno o similar por extrusión, siendo su parte exterior de color teja. El diámetro de los tubos será de 160 mm. Además, como solicita la compañía, será necesaria la instalación de un multitubo de comunicaciones junto a los tubos de la electricidad, el cual tendrá la designación MTT y estará formado por cuatro tubos de 40 mm de diámetro (4x40 mm). Los tubos del multitubo serán de color verde y estarán fabricados en polietileno de alta densidad (PEAD) coextruidos con una capa de silicona permanente en su interior, según norma Iberdrola NI 52.95.20. [13]

La nueva canalización estará formada por cuatro tubos para las líneas de media tensión, de diámetro 160 mm, además del multitubo de comunicaciones. La razón de esta disposición es habilitar dos tubos de reserva para futuras necesidades por parte de la compañía. Según el manual técnico de Iberdrola en su MT 2.31.01 [9] la profundidad, hasta la parte superior del tubo más próximo a la superficie, no será menor de 0,6 m en acera, ni de 0,8 m en calzada.

Las dimensiones de las canalizaciones para ambos casos serán las siguientes:

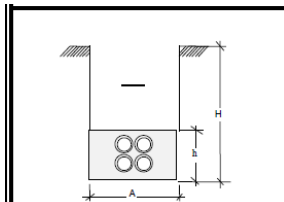
Perfil	Nº Tubos	A (m)	H (m)	Altura asiento h (m)	Cinta señalización cable	Multiducto MTT 4x40
	4 (2P)	0,35	0,90	0,50	1	1

Tabla 6- Dimensiones zanja para canalización bajo acera. [9]

Perfil	Nº Tubos	A (m)	H (m)	Altura asiento h (m)	Cinta señalización cable	Multiducto MTT 4x40
--------	-------------	----------	----------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------

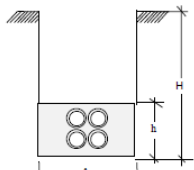
	4 (2P)	0,35	0,1,00	0,50	1*
---	-----------	------	--------	------	----

Tabla 7- Dimensiones zanja para canalización bajo calzada. [9]

La diferencia entre ambos tipos de zanja, además de por las profundidades reseñadas, radica en el relleno de la zanja con tierra, arena, todo-uno o zahorras para el caso de la canalización en acera y con hormigón no estructural H 125 todo-uno o zahorra para la canalización en calzada.

En cuanto a las indicaciones de Iberdrola para este tipo de canalizaciones, para el tendido de líneas de media tensión, establece los siguientes criterios en su MT 2.31.01 [9]:

- La canalización nunca debe de discurrir bajo la calzada salvo en los cruces de la misma.
- En cada uno de los tubos se instalará un solo circuito eléctrico.
- Los laterales de la zanja han de ser compactos y no deben desprender piedras o tierra. La zanja se protegerá con estribas u otros medios para asegurar su estabilidad y además debe permitir las operaciones de tendido de los tubos y cumplir con las condiciones de paralelismo, cuando lo haya.
- En el fondo de la zanja y en toda la extensión se colocará una solera de limpieza de unos 0,05 m aproximadamente de espesor de arena, sobre la que se depositarán los tubos dispuestos por planos. A continuación se colocará otra capa de arena con un espesor de 0.10 m sobre el tubo o tubos más cercanos a la superficie y envolviéndolos completamente. Sobre esta capa de arena y a 0,10 m del firme se instalará una cinta de señalización a todo lo largo del trazado del cable las características de las cintas de aviso de cables eléctricos.
- Los cables de control, red multimedia, etc se tenderán en un ducto (multitubo con designación MTT 4x40). Éste se instalará por encima de los tubos, mediante un conjunto abrazadera/soprote, ambos fabricados en material plástico.
- El relleno de la zanja, dejando libre el firme y el espesor del pavimento, para este relleno se utilizará todo-uno, zahorra o arena. Después se colocará una capa de tierra vegetal o un firme de hormigón no estructural H 125 de unos 0,12 m de espesor y por último se repondrá el pavimento a ser posible del mismo tipo y calidad del que existía antes de realizar la apertura.

- Los tubos podrán ir colocados en uno, dos o tres planos. Al objeto de impedir la entrada del agua, suciedad y material orgánico, los extremos de los tubos deberán estar sellados. Los tubos que se coloquen como reserva deberán estar provistos de tapones.
- Antes del tendido se eliminará de su interior la suciedad o tierra garantizándose el paso de los cables mediante mandrilado acorde a la sección interior del tubo o sistema equivalente. Durante el tendido se deberán embocar correctamente para evitar la entrada de tierra o de hormigón.



Figura 3– Canalización para el tendido de línea de media tensión.

4.1.6 Accesorios: Empalmes y Terminales

De acuerdo a lo que se ha indicado, para introducir el nuevo centro de transformación dentro de la red subterránea de media tensión es necesario la realización de dos juegos de empalme y dos juegos de terminales.

Iberdrola en su NI 56.80.03 [14] define los terminales y empalmes como:

Empalme: Accesorio que garantiza la conexión entre dos cables para formar un circuito continuo.

Terminales de cable: Dispositivo montado en el extremo de un cable para garantizar la unión eléctrica con otras partes de una red y mantener el aislamiento hasta el punto de conexión.



Los empalmes y terminales serán adecuados a la naturaleza, composición y sección de los cables, y no deberán aumentar la resistencia eléctrica de éstos, según manual técnico [9].

Los terminales deberán ser, asimismo, adecuados a las características ambientales (interior, exterior, contaminación, etc.).

Las características de los accesorios permitidos por Iberdrola, para ambos tipos son los siguientes:

TERMINALES: Sus características serán las establecidas en la Norma Iberdrola NI 56.80.02 [15]. La tecnología aceptada por la compañía será contráctil en frío o enfilable de presentación monobloc o integral, según lo indicado en el capítulo 5 de la UNE 211 027.

EMPALMES: Las características de los empalmes aceptados por Iberdrola serán del tipo retráctil en frío que se utiliza en líneas con aislamiento seco. El tipo de empalme a utilizar será el denominado E1S/24-R/150-240. Este tipo de empalme consiste en un prefabricado diseñado para contraerse sin aporte de calor, generalmente pre-expandido por medio de un soporte que tiende a recuperar sus dimensiones originales cuando el soporte es retirado. Los tipos de empalmes, según sección de conductor son los siguientes [14].

Empalmes rectos unipolares normalizados

Designación	Tensión máxima (Um) kV	Sección del conductor mm ²	Naturaleza del conductor	Código
E1S/24-150÷240	24	150 y 240	Al	56 80 247
E1S/24-400		400		56 80 248
E1S/24-150÷240 (AS)		150 y 240		56 80 246
E1S/24-400 (AS)		400		56 80 249
E1S/36-150÷240	36	150 y 240		56 80 267
E1S/36-400		400		56 80 268
E1S/36-150÷240 (AS)		150 y 240		56 80 266
E1S/36-400 (AS)		400		56 80 269

Tabla 8– Empalmes rectos unipolares normalizados.

Significado de las siglas que componen la designación:

- E1: Empalme unipolar
- S: Cables con aislamiento seco
- 24/36: Tensión asignada en kV
- R: Retráctil en frío
- 150/240/400 = Sección del conductor o gama de secciones, en mm²



CARACTERISTICAS GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ACCESORIOS [14].

La reconstitución del aislamiento, pantallas y cubiertas se realizará de acuerdo con la técnica de fabricación correspondiente al diseño. El fabricante indicará las características de los materiales usados para la confección de empalmes o terminales, así como sus verificaciones y ensayos.

Los materiales especificados serán adecuados para su empleo, y no serán afectados por el contacto con otros materiales utilizados en la confección del terminal o empalme ni aumentarán la velocidad de corrosión de cualquier metal con el que puedan entrar en contacto.

Los elementos a colocar sobre el aislamiento del cable, tendrán condiciones adecuadas para adaptarse totalmente a éste, evitando cavidades de aire.

Los terminales y empalmes deberán sellar totalmente, tanto el cable como el conductor.

No se admitirá que el aislamiento y la cubierta estén formados por cintas o materiales cuya forma y dimensiones dependan de la habilidad del operario. Además sólo se aceptarán éstas como elementos de sellado, cierre o relleno, debiendo ser de características autosoldable y antisurco.

El manguito de unión cumplirá con la norma IEC 61 238-1, para la clase A, de acuerdo con las dimensiones máximas para la conexión del manguito de empalme en cada accesorio. Estas dimensiones serán indicadas por el fabricante. El manguito de unión será de apriete por tornillo fusible (par de apriete controlado).

La toma de tierra de los terminales, así como en su caso, el manguito de unión de pantallas metálicas, será de cobre estañado, para ser engastada por compresión o por tornillo con apriete controlado. La pieza de toma de tierra y manguito de unión de pantallas metálicas se suministrarán como parte integrante del accesorio.

El fabricante indicará los diámetros que sobre el aislamiento abarca cada accesorio.

En los empalmes se mantendrá la continuidad de la pantalla metálica, por medio de conexiones adecuadas que garanticen la perfecta conexión eléctrica, así como el apantallamiento total del empalme. Estas conexiones deberán soportar corrientes de cortocircuito no inferiores a las específicas para las pantallas de los cables que forman el empalme.

Los empalmes serán confeccionados de tal forma, que estén contenidos en una sola envolvente, una por fase, quedando todas las conexiones en el interior.



4.1.7 Puestas a tierra

En el caso de pantallas de cables unipolares, se conectarán las pantallas a tierra en ambos extremos. Se pondrá a tierra las pantallas metálicas de los cables al realizar cada uno de los empalmes y terminaciones. De esta forma, en el caso de un defecto a masa lejano, se evitará la transmisión de tensiones peligrosas, según manual técnico de Iberdrola MT 2.31.01 [9].

4.1.8 Protecciones

Protecciones contra sobreintensidades

Según el MT 2.31.01 de Iberdrola [9], los cables estarán debidamente protegidos contra los efectos térmicos y dinámicos que puedan originarse debido a las sobreintensidades que puedan producirse en la instalación.

Para la protección contra sobreintensidades se utilizan los interruptores automáticos colocados en el inicio de las instalaciones que alimenten cables subterráneos, en el caso de estudio en la cabecera de la línea de media tensión en la correspondiente subestación. Las características de funcionamiento de dichos elementos de protección corresponderán a las exigencias que presente el conjunto de la instalación de la que forme parte el cable subterráneo, teniendo en cuenta las limitaciones propias de éste.

Protección contra sobreintensidades de cortocircuito

Según el MT 2.31.01 de Iberdrola [9], la protección contra cortocircuitos por medio de interruptores automáticos se establecerá de forma que la falta sea despejada en un tiempo tal, que la temperatura alcanzada por el conductor durante el cortocircuito no dañe el cable.

La línea de media tensión al ser de distribución pública está protegida contra sobreintensidades de cortocircuito desde su inicio en la subestación correspondiente mediante interruptores automáticos.

Las intensidades máximas de cortocircuito admisibles para los conductores y las pantallas correspondientes a tiempos de desconexión comprendidos entre 0,1 y 3 segundos, serán las indicadas en la Norma UNE 211435. Podrán admitirse intensidades de cortocircuito mayores a las indicadas en aquellos casos en que el fabricante del cable aporte la documentación justificativa correspondiente.

Protección contra sobretensiones

Según el MT 2.31.01 de Iberdrola [9], La línea subterránea de media tensión por ser de distribución pública está protegida contra sobretensiones de origen atmosférico desde su inicio en la subestación correspondiente de compañía, y discurre siempre en subterráneo. Por ello, no se considera que deba protegerse nuevamente con ningún otro dispositivo contra sobretensiones de origen atmosférico, como se indica en el MT 2.31.01 de Iberdrola [9],



4.2 DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

4.2.1 Introducción

En el presente capítulo se va a describir el centro de transformación, siendo la instalación que alberga el transformador, elemento a través del cual se produce la transformación de energía de media tensión en baja tensión. Además contiene otros elementos que contribuirán a este fin mediante su protección, interconexión o control.

Los Centros de Transformación se pueden clasificar atendiendo a distintos criterios [4]:

*** ALIMENTACIÓN:**

- CT en Punta: Constituye el punto final de una red.
- CT en Paso: Dispone de entrada y salida de línea, estando alimentado en bucle o anillo.

*** PROPIEDAD:**

- CT de compañía: Propiedad de la compañía, de él parten las redes de distribución de baja tensión.
- CT de abonado: Propiedad del cliente, alimentando únicamente a este abonado, al ser un gran consumidor de energía.

*** EMPLAZAMIENTO:**

- CT Intemperie o aéreo: No precisa la construcción de edificio específico. Propio de zonas rurales y con poca potencia de transformador.
- CT Interior: Se ubica en recintos cerrados. Puede ser a su vez:
 - * CT Superficie: Tiene su acceso desde la calle. Bien alojado en un local de un edificio o de manera independiente.
 - * CT Subterráneo: Instalado bajo vía pública o en un sótano de edificio. Acceso de personal y material a nivel de suelo.

*** TIPO ACOMETIDA:**

- CT Acometida aérea: La corriente llega al centro a través de una línea aérea de MT.
- CT Acometida subterránea: La corriente llega al centro a través de una línea subterránea de MT.



*** OBRA CIVIL:**

- CT Convencional: Ubicado en el interior de un recinto construido de ladrillo, piedra, hormigón, etc...En desuso, propio de zonas rurales.
- CT Compacto semienterrado: Prefabricado de reducidas dimensiones, quedando semienterrado (1,5 m de altura vista). De maniobra exterior.
- CT Compacto de superficie: Prefabricado para su instalación completa en superficie. De maniobra exterior también.
- CT Maniobra: Se emplea en redes de MT. De estructura monobloque, diseñado para instalación en superficie. De maniobra exterior.
- CT Prefabricado Superficie: Consta de una envolvente prefabricada de hormigón en cuyo interior se instalan todos los componentes eléctricos. De fácil montaje. De maniobra interior. Permite hasta dos transformadores de mayor potencia.
- CT Prefabricado Subterráneo: Precisa de una mayor obra civil que el Prefabricado de Superficie. También viene prefabricado de fábrica. Reduce al mínimo el impacto sobre el entorno por su carácter subterráneo. De maniobra interior.

Su elección depende del tipo de instalación, situación y tipo de suministro que se vaya a realizar.

Por la situación en la que se va a ubicar el centro de transformación, objeto del presente proyecto, se ha elegido la opción de utilizar un centro de transformación prefabricado de superficie de la marca ORMAZABAL, de tipo compañía, cumpliendo por tanto con la normativa de la compañía suministradora. Al ser de un centro de transformación propiedad de la compañía, el mantenimiento del mismo correrá por su cuenta. En dicho centro vendrán integrados de fábrica los distintos elementos que lo componen: transformador de 400 kVA, cuadro de baja tensión y compacto de celdas prefabricado, incluyendo puentes de baja y media tensión, elementos de alumbrado y seguridad, además de la puesta a tierra interior del centro.

La ventaja de este tipo de centros prefabricados radica en la total integración de los elementos que lo componen, así como la reducción casi por completo de trabajos de obra civil auxiliar para su instalación en su ubicación final.

Las dimensiones del centro serán las necesarias para alojar los distintos elementos reseñados, respetándose las distancias mínimas entre los mismos, tal como detalla en el Reglamento de alta tensión y se describirá a continuación [3]. Además deberá de tener unas dimensiones que



permita la ejecución de las maniobras propias de su explotación y operaciones de mantenimiento en condiciones óptimas de seguridad para las personas que lo realicen.

La acometida al centro de transformación desde la línea subterránea de media tensión existente se realizará también mediante canalización subterránea, a través de los pasamuros ya existentes en el prefabricado de hormigón, con 8 tubos de 160 mm de diámetro en dos niveles para la baja tensión y otros 3 para la media tensión.

El suministro de energía al centro desde la red Iberdrola se realizará con una tensión de servicio de 20 kV y una frecuencia de 50 Hz, debiendo utilizar, tal como se indicará en la descripción un transformador con una tensión primaria nominal de 20 kV.

Los elementos más destacables del Centro que se describirán a continuación son los siguientes:

- Edificio prefabricado de hormigón.
- Transformador.
- Celda de Alta Tensión.
- Interconexión Celda-Transformador (MT).
- Interconexión Transformador-Cuadro de Baja Tensión (BT).
- Cuadro de Baja Tensión (CBT).
- Puesta a Tierra de Servicio.
- Puesta a Tierra de Protección.
- Sistema de acera perimetral.
- Material de seguridad.
- Instalaciones secundarias:
 - Foso para recogida de aceite.
 - Protección de Transformador.
 - Alumbrado.
 - Ventilación.
 - Medidas de seguridad.

4.2.2 Edificio prefabricado de hormigón

Tal como se ha introducido en la introducción del presente capítulo, el tipo de centro de transformación elegido para el suministro eléctrico objeto de este estudio es el prefabricado de hormigón de superficie.

Su ubicación será en la vía pública, frente a la nueva urbanización, concretamente en la acera (tal como se indica en los planos adjuntos), teniendo acceso directo desde la vía pública, únicamente para personal autorizado por la compañía suministradora.

La compañía distingue en su manual técnico MT 2.11.01 [10] referente a "Edificios prefabricados de hormigón para Centros de Transformación de Superficie" tres tipos de edificios prefabricados (EP):

- EP-1 (Edificio prefabricado, 1 máquina).
- EP-1T (Edificio prefabricado, 1 máquina y telemandado).
- EP-2 (Edificio prefabricado, 2 máquinas).

En este proyecto se instalará un edificio prefabricado de 1 máquina sin telemando (EP-1). Tal como se ha descrito, se instalará un prefabricado de la marca ORMAZABAL. Dentro de la gama de prefabricados de ORMAZABAL el tipo que se ajusta a este proyecto es el denominado PFU-3. Este prefabricado consta de una única envolvente con unas dimensiones exteriores y pesos de [5]:

- Longitud: 3,280 m
- Ancho: 2,380 m
- Alto: 3,045 m
- Peso: 10.545 Kg.



Figura 4– Alzado PFU-3 ORMAZABAL. [5]

En el interior del prefabricado, anclada a su envolvente, se aloja toda la apartament eléctrica, transformador y demás equipos, cumpliendo con las características generales de Iberdrola especificadas en su manual técnico [10]. El prefabricado está compuesto por dos elementos principales:

- Equipo eléctrico interior (se describirán en los siguientes apartados).
- Edificio prefabricado de hormigón.

El edificio prefabricado viene equipado y montado directamente de fábrica con los siguientes componentes [5]:

- Cubierta amovible prefabricada de hormigón.
- Puerta de acceso al equipo eléctrico de dimensiones 900 x 2100 mm, abatible 180° sobre el paramento exterior, abisagrada, dotada de cerradura con dos puntos de anclaje y varilla de sujeción contra cierres intempestivos.
- Puerta de acceso al transformador de 1260 x 2100 mm.
- Rejillas de entrada de aire para ventilación natural.
- Orificios de entrada y salida de cables en la parte frontal y posterior inferior de la envolvente,
- Foso colector de recogida de aceite y lecho de guijarro cortafuegos.
- Un orificio, por encima de la cota 0 en la pared frontal, de diámetro 140 mm, para la entrada de una acometida auxiliar de baja tensión.
- Dos cajas de seccionamiento de tierra de protección (herrajes) y de servicio (neutro), situadas en el lado interior izquierdo y derecho de la pared frontal respectivamente.
- Alumbrado y servicios auxiliares.

Todo esto, representado gráficamente:

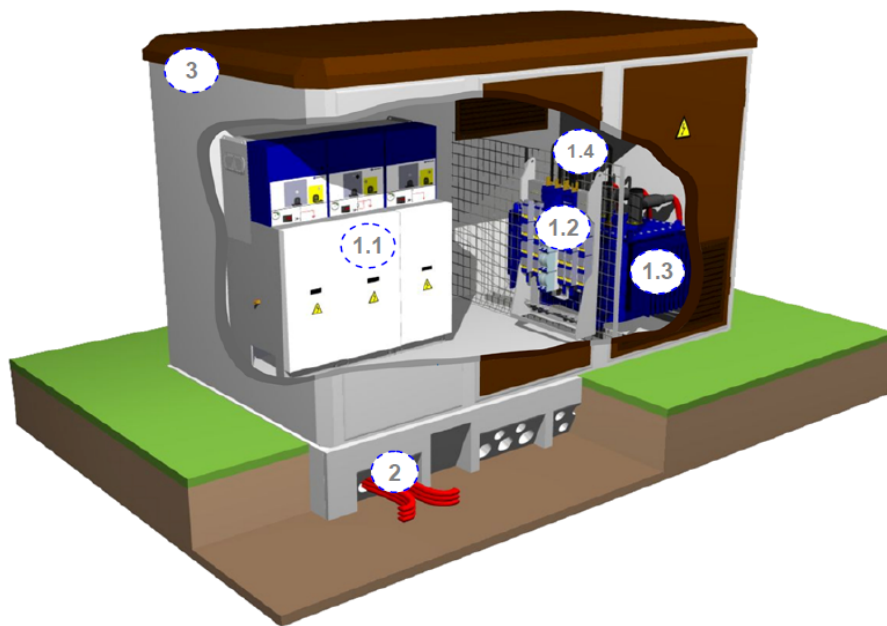


Figura 5– Esquema descriptivo prefabricado de hormigón PFU-3 (ORMAZÁBAL). [5]

Donde:

- 1- Equipo eléctrico interior:
 - 1.1. Aparata de media tensión.
 - 1.2. Cuadro de baja tensión.



- 1.3. Transformador de potencia.
- 1.4. Puentes de cables.
- 2- Acceso de cables.
- 3- Edificio prefabricado de Hormigón.

Según prescripción del fabricante, el prefabricado está preparado para trabajar en las siguientes condiciones [5]:

Temperatura del aire	Máxima	°C	+ 40
	Mínima	°C	- 25
	Valor medio diario	°C	+ 35
Valor medio de la humedad relativa del aire⁽¹⁾		%	≤ 100
Altura sobre el nivel del mar		m	≤ 1000

Tabla 9– Condiciones trabajo PFU-3.[5]

En cuanto a la cubierta del prefabricado, siguiendo la norma de la compañía, se construye consiguiendo una perfecta estanqueidad, evitando todo riesgo de filtraciones. Además no se instala ningún elemento sobre la cubierta que dificulte el deslizamiento del agua. La cubierta, está diseñada, impidiendo la acumulación de aguas sobre ella consiguiendo que desague directamente al exterior desde su perímetro [10].

La envolvente, en su parte interior y en sitio bien visible, lleva una placa de características en la que se indican, con letra indeleble y legible, los datos siguientes:

- Marca del fabricante.
- Año de fabricación.
- Número de serie.
- Referencia del catálogo del fabricante.

Además, la puerta de acceso al centro llevará una placa de advertencia de riesgo eléctrico. Finalizando la descripción del centro en con respecto a la envolvente, en el hormigón exterior llevará grabada de forma indeleble y legible la marca del fabricante, ORMAZABAL, y el año de fabricación.

En cuanto a las dimensiones interiores, el Centro cumple con lo establecido en el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación en sus Instrucciones Técnicas Complementarias [2]. La anchura de los pasillos de servicio; dado que las celdas a emplear son prefabricadas, constituyendo el conjunto formado por los elementos de corte, conexión y embarrado, un equipo de aislamiento integral (*IP67–IEC60529*); será la suficiente para permitir la fácil maniobra e inspección de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos en las operaciones de montaje o revisión de los mismos.



En todo caso se indican a continuación las distancias mínimas, según los casos, establecidas en el apartado 5 de la ITC14-MIE-RAT[2].

- Pasillos de maniobra con elementos en tensión a un solo lado 1,0 m
- Pasillos de maniobra con elementos en tensión a ambos lados 1,2 m
- Pasillos de inspección con elementos en tensión a un solo lado 0,8 m
- Pasillos de inspección con elementos en tensión a ambos lados 1,0 m

Los anteriores valores, son valores totalmente libres, es decir, medidos entre las partes salientes que pudieran existir tales como mandos de aparatos, barandillas, etc.

Los elementos en tensión no protegidos, que se encuentran sobre los pasillos, están a una altura mínima de 250 cm sobre el suelo.

En las zonas de transporte de aparatos se mantiene una distancia, entre los elementos en tensión y el punto más próximo del aparato en traslado, no inferior a 40 cm.

En cualquier caso, los pasillos están libres de todo obstáculo hasta una altura de 230 cm.

Para la protección contra contactos accidentales, las celdas abiertas de las instalaciones interiores, están protegidas mediante pantallas macizas, enrejados, barreras, bornas aisladas, etc, que impiden el contacto accidental de las personas que circulan por el pasillo, con los elementos en tensión de las celdas.

Entre los elementos en tensión y dichas protecciones, existen, como mínimo, las distancias que a continuación se indican, en función del tipo de la protección, medidas en horizontal y expresadas en centímetros.

- De elementos en tensión a pantallas o tabiques de material no conductor: 20 cm.
- De los elementos en tensión a pantallas o tabiques de material conductor: 23 cm
- De los elementos en tensión a pantallas de enrejados: 30 cm
- De los elementos en tensión a barreras (barandillas, listones, cadenas, etc.): 80 cm

La aplicación de los anteriores valores se hará teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las pantallas, los tabiques macizos y los enrejados, deben disponerse de modo que su borde superior este a una altura mínima de 160 cm sobre el suelo del pasillo. Se pueden realizar de forma que dicho borde superior esté a una altura mínima de 100 cm, pero si no alcanza los 160 cm, se aplican las distancias correspondientes a las barreras indicadas anteriormente, el borde inferior debe estar a una altura máxima sobre el suelo de 40 cm.



- Las barreras de listones, barandillas o cadenas, deben colocarse de forma que su borde superior este a una altura mínima sobre el suelo de 100 cm. Además, deben disponerse más de un listón o barandilla para que la altura del mayor hueco libre por debajo del listón superior no supere el 30% de la altura mínima, con un máximo de 40 cm.

- Cuando en la parte inferior de la celda no existan elementos en tensión se realizará una protección incompleta, es decir que no llegue al suelo, a base de pantallas o rejillas, quedará a una altura mínima sobre el suelo según lo indicado anteriormente, quedando el borde inferior a una altura sobre el suelo que será como máximo 25 cm menor que la altura del punto en tensión más bajo.

Con respecto al transporte del prefabricado se debe utilizará un camión-góndola articulado para evitar roturas por asientos diferenciales, con una altura de plataforma inferior a 900 mm. Para su transporte hay que obtener una Autorización Genérica de Transportes Especiales.

Previamente a la descarga del prefabricado hay que hacer un estudio del lugar de emplazamiento, para comprobar las posibilidades de acceso y posicionamiento del vehículo, a fin de definir la disponibilidad de espacio suficiente para ejecutar correctamente esta maniobra de descarga.

En cuanto a las dimensiones de la excavación la compañía solicita las siguientes medidas [5]:

- Anchura excavación: 4080 mm
- Fondo excavación: 3180 mm
- Profundidad: 560 mm

Estas dimensiones indicadas en un croquis quedarían con la siguiente disposición:

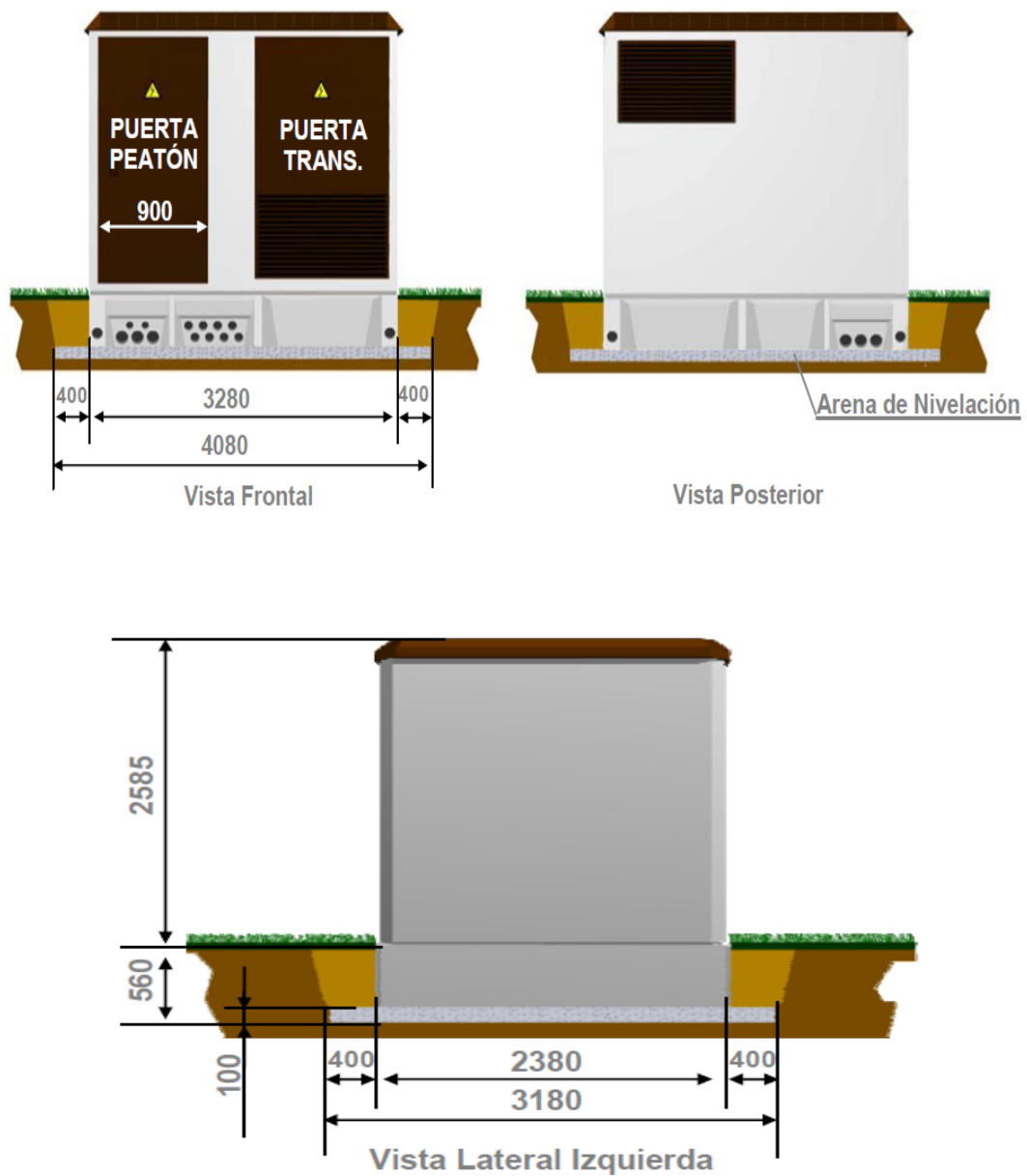


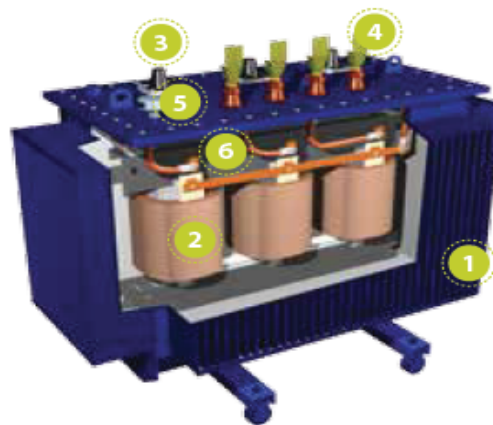
Figura 6– Dimensiones excavación prefabricada.[5]

Una vez que ya se ha definido el edificio del prefabricado de hormigón en los siguientes apartados se tratará en profundidad los elementos que componen el equipo eléctrico interior.

4.2.3 Transformador

El transformador es el elemento más destacable dentro de los centros de transformación, ya que es el encargado de realizar la función de transformación, de manera que recibiendo un sistema de corriente alterna con unas condiciones de intensidad y tensión lo transforma en otro de similares características, con la tensión e intensidad deseadas.

Los elementos más destacables del mismo se indican a continuación:



- 1 Cubierta y líquido dieléctrico
- 2 Arrollamientos de MT y BT
- 3 Pasatapas enchufables de MT
- 4 Terminales BT
- 5 Vaina para termómetro
- 6 Núcleo ferromagnético

Figura 7– Elementos transformador. [6]

En el presente proyecto, tal como se ha calculado en el capítulo de “previsión de cargas para suministro de viviendas en baja tensión” y el de “cálculo justificativo de la potencia del transformador” se va a instalar un transformador de 400 kVA de potencia aparente. La marca elegida para el transformador es ORMAZABAL, al igual que el prefabricado del centro de transformación y el compacto de celdas.

El transformador utilizado será un transformador trifásico reductor de tensión, con neutro accesible en el secundario y refrigeración natural de aceite mineral, lo cual significa que el núcleo y los arrollamientos de cobre se encuentran sumergidos en este aceite (600 litros como máximo). La tensión primaria es de 20 kV y la secundaria de 420 V (B2)[6].

De una manera más descriptiva los elementos de conexión, con una vista desde la parte superior, son los siguientes:

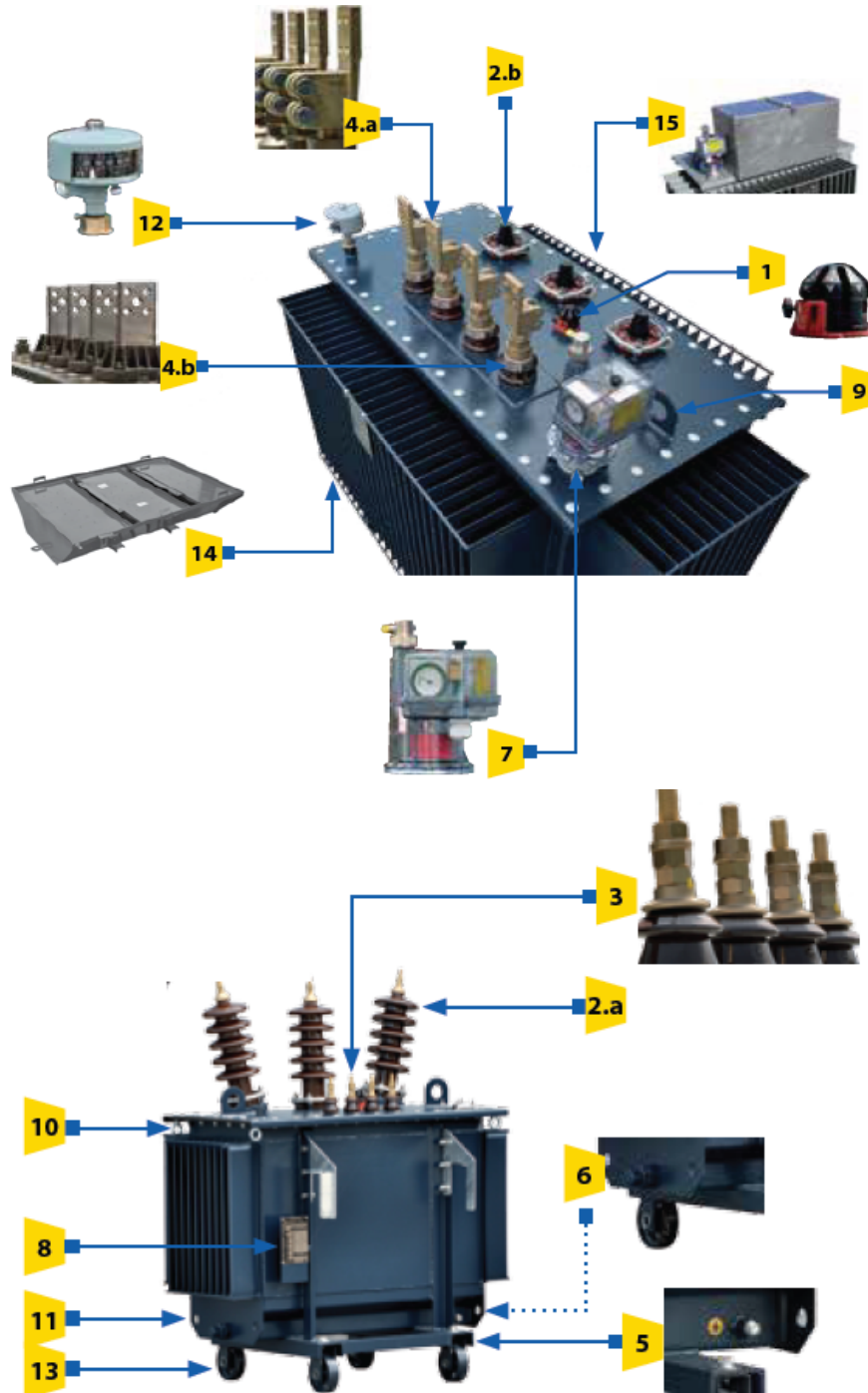


Figura 8– Elementos exteriores en detalle transformador.[6]



Elementos (según numeración figura):

- 1 Conmutador de regulación (maniobrable sin tensión)
2. a Pasatapas media tensión de porcelana
2. b Pasatapas media tensión enchufables
- 3 Pasatapas baja tensión de porcelana
4. a Terminales planos de conexión baja tensión (≥ 630 kVA)
4. b Pasabarras unipolar baja tensión.
- 5 Terminales de tierra en la cuba
- 6 Dispositivo de vaciado y toma de muestras.
- 7 Dispositivo de llenado:
Relé de protección integral
Funciones: Control de presión interna de la cuba, control de temperatura del líquido dieléctrico, control de nivel de aceite y detección de gases
- 8 Placa de características
- 9 2 Cáncamos de elevación
- 10 4 Cáncamos de arriostamiento
- 11 4 Dispositivos de arrastre
- 12 Dispositivo para alojamiento de termómetro:
Termómetro: mide la temperatura de la capa superior del líquido aislante
Disponible con 2 contactos (alarma y disparo) y aguja de máxima
- 13 Ruedas (≥ 250 kVA)
- 14 Dispositivo de recogida del dieléctrico líquido
- 15 Cajón cubrebornas

De estos elementos mostrados gráficamente los más reseñables son los siguientes [4]:

- Pasatapas de media tensión: Su función consiste en conectar las bobinas del transformador con la red de llegada de media tensión, para lo cual tienen que atravesar la tapa de la cuba del transformador.
- Pasatapas de baja tensión: Estos elementos se encargan de conectar las bobinas del transformador con la red de salida de baja tensión, atravesando también la tapa de la cuba del transformador.
- Cuba: Es un depósito que contiene el líquido refrigerante, en este caso aceite, en el que van inmersos el núcleo y las bobinas del transformador. Se cierra por la parte superior con la tapa atornillada perimetralmente a la cuba, que sirve de soporte a la parte activa del transformador. Adosados en su lateral, se encuentran los radiadores por donde circula el aceite por convección, lográndose con ello refrigerar el transformador.
- Depósito de expansión: Se sitúa en la parte superior de la cuba, comunicando con ello, de tal forma que permite asegurar su inundación completa. A la vez sirve de cámara de



expansión del aceite ante las variaciones de temperatura que este sufre como consecuencia de su funcionamiento.

- Indicador del nivel de aceite: Esta ventanilla circular permite observar el nivel de aceite del transformador a todas las temperaturas comprendidas entre 0 y 100°C.
- Desecador: Este elemento se sitúa en línea de comunicación con la atmosfera y tiene por misión secar el aire que entra al transformador como consecuencia de la disminución del nivel de aceite (la cual puede producirse bien por la bajada de temperatura o por una fuga de aceite). Está formada por un recipiente que contiene gravilla de gel de sílice y se instala en algunos transformadores con depósito de expansión y, principalmente, en los de piraleno.
- Termostatos: Pueden ser de columna o de esfera. Los primeros indican solamente la temperatura del aceite del transformador; los de esfera, además, disponen de contactos ajustables a cualquier valor deseado, para provocar alarmas o disparos del transformador.
- Placa de características: Esta placa se sitúa en un lateral del transformador, a la vista. En ella se resumen las características más importantes de éste, como: designación, tensiones nominales (primaria y secundaria), potencia nominal, intensidades nominales (primaria y secundaria), tensión de cortocircuito, grupo de conexión e índice horario, niveles de aislamiento, pesos (total y del aceite) y calentamientos (del cobre, del aceite, temperatura ambiente).
- Designación de bornes: La designación de bornes de los lados de media tensión y baja tensión se realiza en la tapa de la cuba del transformador, tanto para transformadores generales como para transformadores bitensión.

Internamente el transformador está constituido por un circuito magnético (núcleo) y dos circuitos eléctricos (arrollamientos o bobinas) [4]:

- Núcleo magnético: Constituye el camino por el cual se establece el flujo magnético. Está formado por columnas, culatas y yugos. Su composición es de chapas ferromagnéticas de acero aleado de 0,35 mm de espesor, realizadas con Silicio entre el 3 y el 5% y aisladas eléctricamente entre sí.

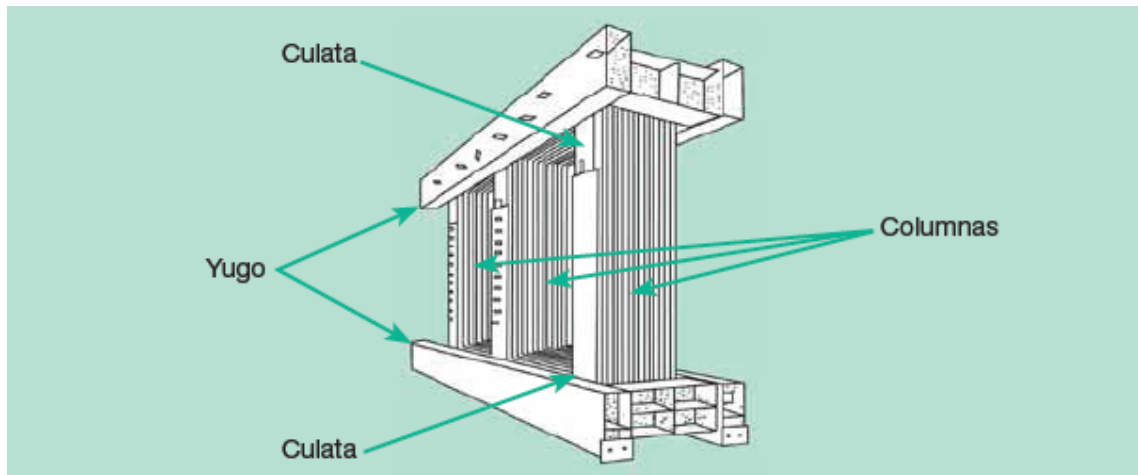


Figura 9– Núcleo magnético de Transformador.[4]

- Arrollamientos o bobinas: Está constituido por bobinas de hilo de cobre o de aluminio de sección rectangular o circular. Las dos disposiciones más usuales de realizar arrollamientos del lado de media tensión y baja tensión son:
 - Arrollamiento alternado: Consiste en disponer un número determinado de vueltas del arrollamiento de baja tensión; a continuación, una capa de aislante seguida de un número de vueltas correspondientes al arrollamiento de media tensión, y así sucesivamente, hasta cubrir toda la altura de la columna del núcleo.
 - Arrollamiento concéntrico: Se realiza primero el arrollado correspondiente a baja tensión, y seguidamente, después de la capa de aislante, el arrollamiento de media tensión, ambos a lo largo de toda la columna del núcleo.

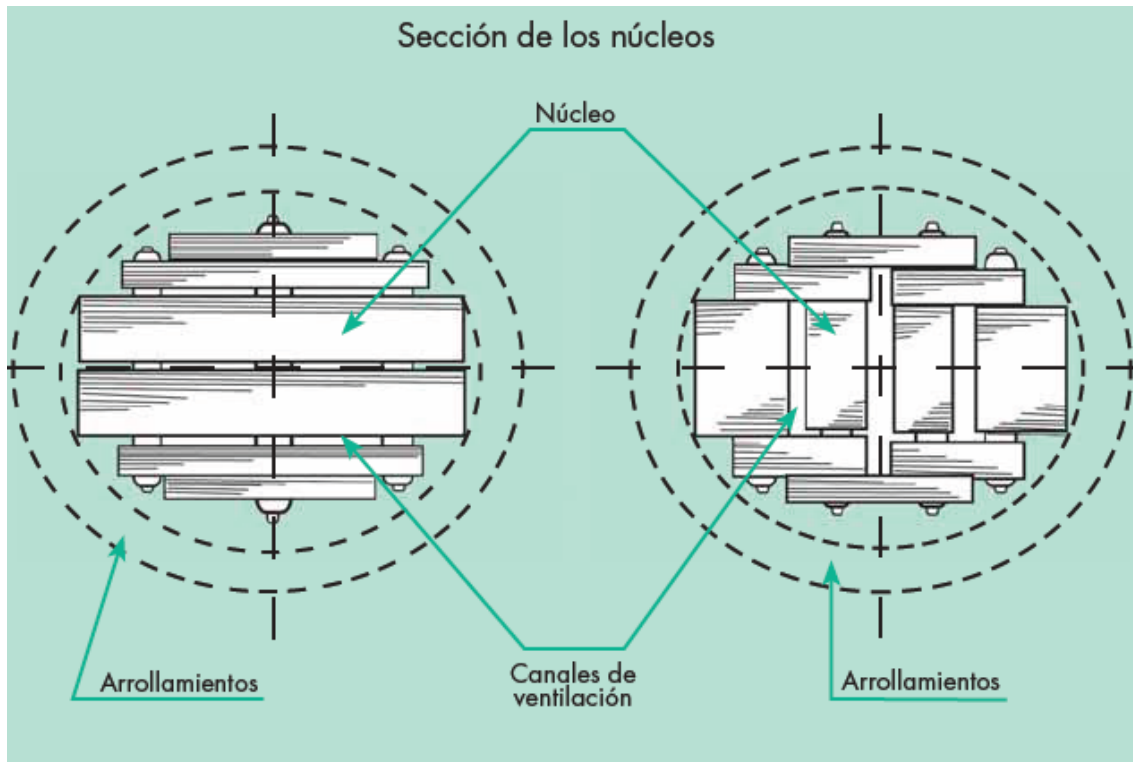


Figura 10 – Arrollamientos o bobinas del Transformador.[4]

Finalmente, para terminar de definir el transformador en su parte descriptiva se adjuntan las características eléctricas más importantes proporcionadas por el fabricante, Ormazábal [6]:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:

Potencia asignada(kVA)		400
Tensión asignada	Primaria(kV)	<24
	Secundaria en vacío(V)	420
Grupo de conexión		Dyn 11
Regulación en el primario		$\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 7,5\%$, $\pm 10\%$
Pérdidas en vacío - P_0 (W)		430
Pérdidas en carga - P_k (W)		3850
Impedancia de Cortocircuito (%) a 75°C		4
Nivel de Potencia Acústica L_{wA} (dB)		50
Caída de tensión a plena carga (%)	$\cos \phi = 1$	1,04
	$\cos \phi = 0,8$	3,13



Rendimiento (%)	CARGA 100%	cos ϕ =1	98,94
		cos ϕ =0,8	98,68
	CARGA 75%	cos ϕ =1	99,14
		cos ϕ =0,8	98,93
Protección incorporada al transformador			Termómetro

Tabla 10– Características eléctricas transformador.

DIMENSIONES:

Potencia asignada(kVA)	400
Largo(mm)	1426
Ancho(mm)	876
Alto a tapa(mm)	1032
Alto a MT con Porcelana MT(mm)	1417
Alto a MT Borna enchufable MT(mm)	1122
Alto a BT con Palas(mm)	1266
Separación MT(mm)	275
Separación entre BT(mm)	150
Distancia entre ruedas(mm)	670
Ancho rueda(mm)	40
Diámetro rueda(mm)	125
Rueda(mm)	110
Volumen aceite(litros)	377
Peso total(Kg)	1389

Tabla 11– Dimensiones transformador.

4.2.4 Celdas de alta tensión

La red de la cual se alimentará el centro de transformación es del tipo subterráneo, con una tensión de 20 kV y una frecuencia de 50 Hz.

La potencia de cortocircuito en el punto de acometida, según los datos suministrados por Iberdrola, es de 350 MVA, lo que equivale a una corriente de cortocircuito de 13,5 kA eficaces [9].

Características Generales de los Tipos de Aparamenta Empleados en la Instalación.

Se puede definir celda como el conjunto de aparamenta eléctrica bajo envolvente metálica prefabricada, que constituye un único compartimento de SF₆, donde van emplazadas una o varias unidades funcionales, ya sean de línea o de protección, o bien de ambas[16].



En el presente proyecto se utilizará un compacto de celdas de ORMAZABAL con dos celdas con función de línea para la entrada y salida de la línea subterránea de media tensión, y una celda con función de protección del transformador.

El aislamiento y corte de las celdas se produce en gas SF_6 , por su gran capacidad dieléctrica, por su alta capacidad de corte ante intensidades de cortocircuito, su menor espacio y reducido mantenimiento.

Las celdas de ORMAZABAL reciben la nomenclatura comercial de CGMcosmos. Las celdas CGMcosmos forman un sistema de equipos modulares de reducidas dimensiones para MT, con aislamiento y corte en gas SF_6 , cuyos embarrados se conectan utilizando unos elementos de unión patentados por ORMAZABAL y denominados ORMALINK, consiguiendo una conexión totalmente apantallada, e insensible a las condiciones externas (polución, salinidad, inundación, etc.)[7].

Las partes que componen estas celdas son [7]:

- Base y frente:

La base soporta todos los elementos que integran la celda. La rigidez mecánica de la chapa y su galvanizado garantizan la indeformabilidad y resistencia a la corrosión de esta base. La altura y diseño de esta base permite el paso de cables entre celdas sin necesidad de foso (para la altura de 1740 mm), y facilita la conexión de los cables frontales de acometida.

La parte frontal incluye en su parte superior la placa de características eléctricas, la mirilla para el manómetro, el esquema eléctrico de la celda, los accesos a los accionamientos del mando y el sistema de alarma sonora de puesta a tierra. En la parte inferior se encuentra el dispositivo de señalización de presencia de tensión y el panel de acceso a los cables y fusibles. En su interior hay una pletina de cobre a lo largo de toda la celda, permitiendo la conexión a la misma del sistema de tierras y de las pantallas de los cables.

Lleva además un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

- Cuba:

La cuba, fabricada en acero inoxidable de 2 mm de espesor, contiene el interruptor, el embarrado y los portafusibles, y el gas SF_6 se encuentra en su interior a una presión absoluta de 1,15 bar (salvo para celdas especiales). El sellado de la cuba permite el mantenimiento de los requisitos de operación segura durante más de 30 años, sin necesidad de reposición de gas.



Esta cuba cuenta con un dispositivo de evacuación de gases que, en caso de arco interno, permite su salida hacia la parte trasera de la celda, evitando así, con ayuda de la altura de las celdas, su incidencia sobre las personas, cables o la aparamenta del Centro de Transformación.

En su interior se encuentran todas las partes activas de la celda (embarrados, interruptor-seccionador, puesta a tierra, tubos portafusible).

- Interruptor/Seccionador/Seccionador de puesta a tierra:

El interruptor disponible en el sistema CGMcosmos tiene tres posiciones: conectado, seccionado y puesto a tierra.

La actuación de este interruptor se realiza mediante palanca de accionamiento sobre dos ejes distintos: uno para el interruptor (conmutación entre las posiciones de interruptor conectado e interruptor seccionado); y otro para el seccionador de puesta a tierra de los cables de acometida (que conmuta entre las posiciones de seccionado y puesto a tierra).

- Mando:

Los mandos de actuación son accesibles desde la parte frontal, pudiendo ser accionados de forma manual.

- Conexión de cables:

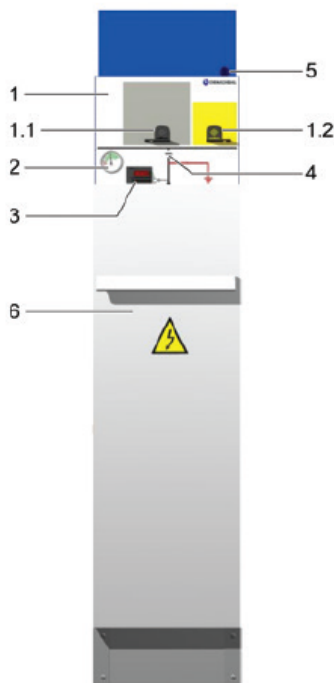
La conexión de cables se realiza desde la parte frontal mediante unos pasatapas estándar.

- Enclavamientos:

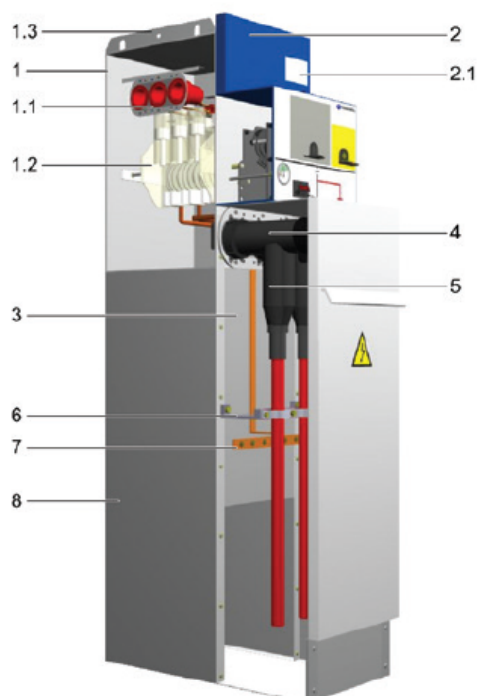
La función de los enclavamientos incluidos en todas las celdas CGMcosmos es que:

- No se pueda conectar el seccionador de puesta a tierra con el aparato principal cerrado, y recíprocamente, no se pueda cerrar el aparato principal si el seccionador de puesta a tierra está conectado.
- No se pueda quitar la tapa frontal si el seccionador de puesta a tierra está abierto, y a la inversa, no se pueda abrir el seccionador de puesta a tierra cuando la tapa frontal ha sido extraída.

Vista frontal



Vista lateral



- 1 Mímico y tapa del mecanismo de maniobra:
- 1.1 Interruptor-seccionador (condenable por candado)
- 1.2 Seccionador de puesta a tierra (condenable por candado)
- 2 Manómetro
- 3 Indicador de tensión (**ekor.vpis**)
- 4 Indicación del interruptor-seccionador
- 5 Alarma acústica (**ekor.sas**)
- 6 Tapa del compartimento de cables

- 1 Cuba de gas
- 1.1 Conexión de barras (pasatapas laterales)
- 1.2 Interruptor-seccionador
- 1.3 Soportes de elevación
- 2 Tapa superior / Ubicación del cajón de control
- 2.1 Placa de características y secuencia de maniobras
- 3 Compartimento de cables
- 4 Pasatapas frontales
- 5 Conectores y cables
- 6 Abrazadera de cables
- 7 Pletinas de tierra
- 8 Conducto de expansión de gases

Figura 11– Elementos celda de línea. [7]



- Características eléctricas

Las características generales de las celdas CGMcosmos son las siguientes:

Tensión nominal 24 kV

Nivel de aislamiento

- Frecuencia industrial (1 min)
 - a tierra y entre fases 50 kV
 - a la distancia de seccionamiento 60 kV
- Impulso tipo rayo
 - a tierra y entre fases 125 kV
 - a la distancia de seccionamiento 145 kV

En la descripción de cada celda se incluyen los valores propios correspondientes a las intensidades nominales, térmica y dinámica, etc.

Características Descriptivas de las Celdas de Media Tensión

Entrada y Salida de LSMT: CGMCOSMOS-L Interruptor-seccionador:

En el compacto que se instalará se dispondrán dos celdas de línea para la entrada y salida de la línea de media tensión.

La celda de línea tiene una envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CML de línea, está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de la acometida [7].

- Características eléctricas:

- Tensión asignada: 24 kV
- Intensidad asignada: 400 A



Instalación de nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado de compañía de 400 kVA y red subterránea de baja tensión para urbanización de 40 viviendas

- Intensidad de corta duración (1 s), eficaz: 16 kA
- Intensidad de corta duración (1 s), cresta: 40 kA
- Nivel de aislamiento
 - Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases: 28 kV
 - Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta): 75 kV
- Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
- Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A
 - Características físicas:
- Ancho: 365 mm
- Fondo: 735 mm
- Alto: 1740 mm
- Peso: 95 kg
- Mando interruptor: manual tipo B

Protección Transformador: CGMCOSMOS-P Protección fusibles.

En el compacto que se instalará se dispondrá una celda de protección para la entrada y salida de la línea de media tensión.

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CGMcosmos-P de protección con fusibles, está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables, y en serie con él, un conjunto de fusibles fríos, combinados o asociados a ese interruptor. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida y puede llevar un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

- Características eléctricas:

- Tensión asignada: 24 kV



Instalación de nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado de compañía de 400 kVA y red subterránea de baja tensión para urbanización de 40 viviendas

- Intensidad asignada en el embarrado: 400 A
- Intensidad asignada en la derivación: 200 A
- Intensidad fusibles: 3x40 A para el Trafo.
- Intensidad de corta duración (1 s), eficaz: 16 kA
- Intensidad de corta duración (1 s), cresta: 40 kA
- Nivel de aislamiento
 - Frecuencia industrial (1 min)
 - a tierra y entre fases: 50 kV
 - Impulso tipo rayo
 - a tierra y entre fases (cresta): 125 kV
- Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
- Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A
 - Características físicas:
 - Ancho: 470 mm
 - Fondo: 735 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 140 kg
 - Otras características constructivas:
 - Mando posición con fusibles: manual tipo BR
 - Combinación interruptor-fusibles: combinados



Figura 12– Compacto celdas ORMAZABAL 2L+1P. [7]

4.2.5 Interconexión celda-transformador

La interconexión entre la celda de protección y el transformador se realizará, tal como define Iberdrola en su manual técnico [10], con cable unipolar seco de 50 mm² de sección del tipo HEPRZ1, empleándose la tensión asignada del cable de 12/20 kV para tensiones asignadas de hasta 24 kV.

En el centro de transformación del presente proyecto los puentes de media tensión estarán formados por una línea de unos 10 metros de longitud aproximada con conductores, como ya se ha indicado, con la configuración HEPRZ1-1 12/20 kV 3x(1x50) mm² Al + H16 y botellas terminales de interior enchufables en ambos extremos con tensión de aislamiento 24 kV/200 A.

La terminación entre los puentes de MT y los pasatapas del transformador será del tipo enchufable acodada, utilizándose una terminación de tipo enchufable recta para la conexión con los pasatapas de la celda de protección.

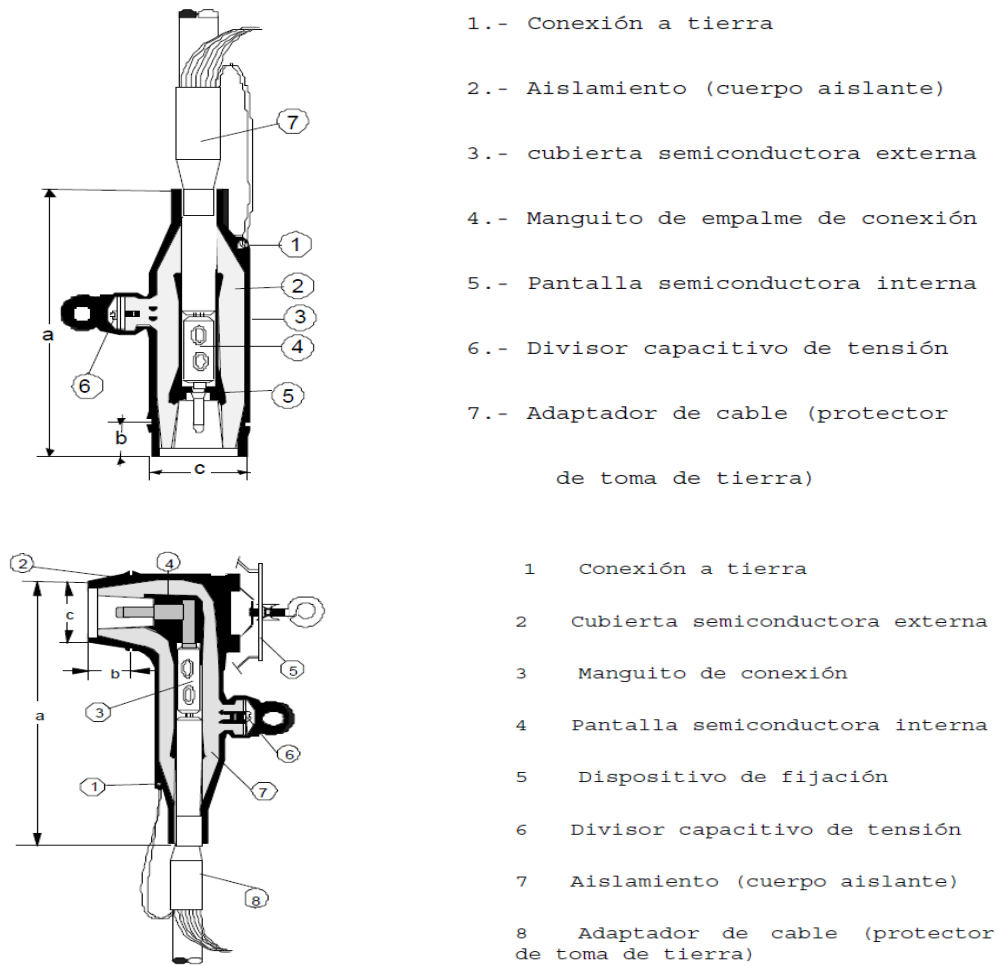


Figura 13-Terminal enchufable recto y terminal enchufable acodado. [14]



Figura 14 - Gama de terminales de media tensión.

4.2.6 Interconexión transformador-cuadro de baja tensión

La interconexión eléctrica entre los pasatapas de baja tensión del transformador y las pletinas del cuadro de baja tensión se realizará, de acuerdo a requerimiento de la compañía[10], mediante cable unipolar de 240 mm² de sección, con conductor de Aluminio de tipo XZ1 de 0,6/1 kV de tensión. Además, la compañía, solicita que el número de conductores por fase sea de 3 y de 2 para el neutro.

Para la interconexión de BT del presente proyecto se utilizará una línea de unos 5 metros de longitud aproximada con conductores unipolares de aislamiento seco XZ1 0,6/1 kV 1x240 mm² con 3 conductores para cada fase y 2 para el neutro, para ser capaces de transportar la carga asociada a un transformador de 400 kVA.

Los cables de la línea de interconexión dispondrán en sus extremos de terminaciones monometálicas (de uso bimetálico) de tipo CTPT-150/240 (CT: Terminación aislada subterránea/ PT: Apriete mecánico), como demanda la compañía en su norma [17].

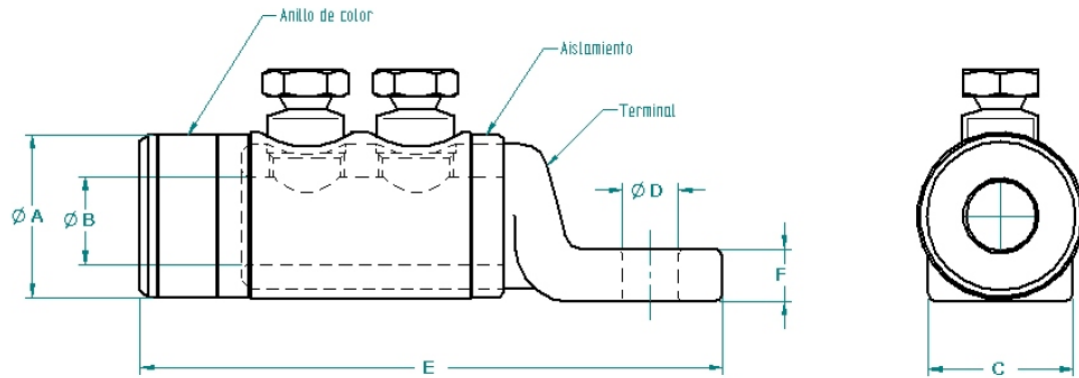


Figura 15 – Terminación aislada CTPT. [17]

4.2.7 Cuadro de baja tensión

En el centro de transformación se instalará un cuadro de baja tensión de 8 salidas con la denominación CBT-EAS-1600-8, por requerimiento de Iberdrola en su norma [18].

El cuadro de baja tensión es un conjunto de aparataje de baja tensión cuya función es la de recibir el circuito principal de baja tensión procedente del transformador y distribuirlo en un número determinado de circuitos individuales (nuevas líneas de baja tensión que se dirigirán hasta las cajas generales de protección).



Figura 16- Cuadro de baja tensión CBT-EAS-1600-8. [8]

El cuadro de baja tensión está constituido por una envolvente metálica formada por un conjunto de piezas de chapa galvanizada de 1,5 mm de espesor como mínimo, dentro de la cual se encuentran las unidades siguientes: unidad funcional de embarrado, unidad funcional de protección y unidad funcional de control [18].

En la envolvente se diferencian dos compartimentos, uno en la parte superior donde se encuentran las bases portafusibles y otro en la parte inferior, protegido por una tapa de chapa de las mismas características que la envolvente, donde se encuentran las conexiones de los cables de salida.

La envolvente del cuadro de baja tensión contiene las unidades funcionales siguientes: unidad funcional de embarrado, unidad funcional de protección y unidad funcional de control.

Se definirán brevemente [18]:

- a) Unidad funcional de embarrado: Los embarrados están constituidos por dos tipos de barras (verticales y horizontales), fabricadas en cobre electrolítico laminado, tipo C-1110 de acuerdo con la Norma UNE EN 13 601, estando todas las barras fabricadas en una sola pieza sin remaches ni soldaduras. Las barras están sin revestimiento ni baño galvánico.
- Embarrado vertical: Tiene como misión realizar la acometida del cuadro de baja tensión y la distribución de la energía eléctrica procedente del transformador MT/BT al embarrado horizontal. Deberá estar formado por cuatro pletinas de cobre electrolítico, tres de fase y una de neutro.
 - Embarrado horizontal: Tiene como misión repartir el paso de la energía procedente de las barras verticales entre las diferentes salidas. Se compone de cuatro barras de cobre electrolítico, tres para las fases y una de neutro según la tabla 2. La barra del neutro estará situada debajo de las barras de las fases, permitiendo fácilmente el embornamiento de los conductores.

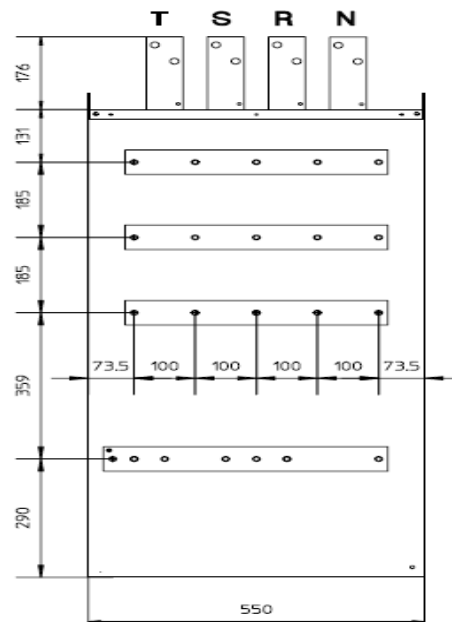


Figura 17- Embarrado vertical y horizontal.



- b) Unidad funcional de protección: Está constituida por un grupo de 8 bases tripolares verticales para cortacircuitos fusibles desconectables en carga, BTVC-2-400 A. La protección se realizará con los fusibles que se definirá en el apartado de cálculos, dispuestos en bases trifásicas pero maniobradas fase a fase, pudiéndose realizar las maniobras de apertura y cierre en carga.
- c) Unidad funcional de control: La unidad funcional de control estará compuesta por una caja de material aislante situada en la parte superior del cuadro en la cual se incorporaran los elementos de control del cuadro de baja tensión.
La conexión del control al cuadro se realizará directamente al embarrado vertical.

Finalmente se definirán las características más reseñables del cuadro utilizado, proporcionadas por el fabricante [8]:

Características eléctricas:

- Tensión asignada: 440 V
- Intensidad asignada en los embarrados: 1000 A-
- Nivel de aislamiento:

Frecuencia industrial (1 min)a tierra y entre fases: 8 kV

Entre fases: 2,5 kV

Impulso tipo rayo a tierra y entre fases: 20 kV

Características constructivas:

- Anchura: 1000 mm
- Altura: 1659 mm
- Fondo: 300 mm

Otras características:

- Intensidad asignada en las salidas 400 A

Función entrada auxiliar:

- Tiene como misión la conexión de una alimentación auxiliar independiente del transformador del centro de transformación al CBT-EAS. Estará dimensionada para una intensidad máxima de 1600A.

4.2.8 Puesta a tierra de servicio

Con objeto de evitar tensiones peligrosas en baja tensión, debido a faltas en la red de media tensión, el neutro del sistema de baja tensión se conecta directamente a tierra. Se utilizará una línea que permitirá mantener una separación con el electrodo de la puesta a tierra de protección, de al menos 21,6 metros. Estará realizada con conductor unipolar de baja tensión de aislamiento seco DN-RA 0,6/1 kV 1x50 mm² Cu, unida mediante una caja de seccionamiento a la red de tierra exterior de neutro del CT, que estará constituida por tres picas de acero cobrizado de 2 m de longitud instaladas a una distancia entre ellas de 3 metros e interconectadas con conductor de cobre desnudo de 50 mm², configuración 5/32 tal y como aparece en el plano N° 8 "CT - PUESTAS A TIERRA".[10][19]



Figura 18– Caja de seccionamiento de servicio.



Figura 19– Picas de cobre para puesta a tierra.

4.2.9 Puesta a tierra de protección

Se conectarán a tierra los elementos metálicos de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero que puedan estarlo a causa de averías o circunstancias externas. Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en el centro de transformación se unirán a la tierra de protección: cuba del transformador, envolventes de las celdas y rejillas de protección así como del cuadro de baja tensión, extremos de conexión en celda y conexión en transformador, armadura del edificio (al ser éste prefabricado), etc. No se unirán, por contra, las rejillas y puertas metálicas del centro, si son accesibles desde el exterior.

Las celdas de media tensión dispondrán de una pletina de tierra que las interconectará, constituyendo el colector de tierras de protección, en el cual se conectará la malla de tierra de los conductores de media tensión, y se unirá a la red de toma de tierra de herrajes exterior del centro de transformación.

La tierra interior de protección se realizará con cable de 50 mm² de cobre desnudo. Este cable conectará los elementos que lo necesiten a la red de toma de tierra exterior de herrajes del centro de transformación, mediante una caja de seccionamiento. El electrodo de la puesta a tierra de protección estará formado por un electrodo de bucle con dimensiones 6,00 m x 5,00 m a 0,50 m de profundidad, denominación EP-1-1BMPO, según Manual técnico de Iberdrola [10][19], tal y como aparece en el plano N°8 "CT PUESTAS A TIERRA". El cálculo y justificación de la puesta a tierra puede verse en el apartado de cálculo de las instalaciones de puesta a tierra, incluido en el presente proyecto.

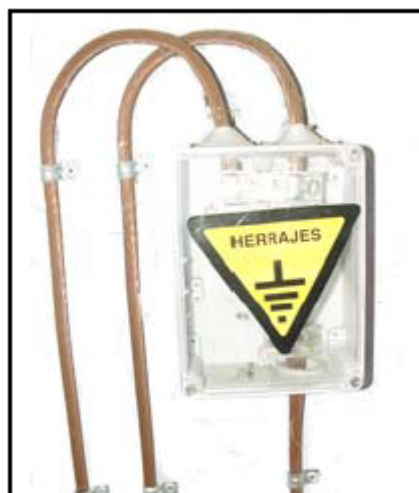


Figura 20- Caja de seccionamiento de Protección.



4.2.10 Sistema de acera perimetral

Tal como se describirá en el apartado de cálculos, se instalará una acera perimetral en torno al centro de transformación, para impedir que las tensiones de paso y contacto resultantes sean superiores a las tensiones de paso y contacto admisible por el ser humano.

Se instalará una capa de hormigón seco ($\rho_s = 3000 \text{ Ohm.m}$) que se colocará como acera perimetral en todo el contorno del centro de transformación, con una anchura de 1,50 m y un espesor de 10 cm.

4.2.11 Material de seguridad y primeros auxilios

El centro de transformación vendrá dotado del siguiente equipo de seguridad y primeros auxilios [10]:

- Banqueta aislante.
- Guantes de goma.
- Placa de instrucciones para primeros auxilios.

Los dos primeros elementos tienen como función la correcta ejecución de las maniobras con la seguridad necesaria.

4.2.12 Instalaciones secundarias

Foso para recogida de aceite

Se va a instalar un foso bajo el transformador, para recogida de posibles fugas de líquido dieléctrico refrigerante (aceite), que impida su derrame al exterior, y con suficiente volumen (mínimo 600 litros) como para albergar la totalidad de dicho líquido.

En la parte superior del foso de recogida se instalarán cortafuegos [10].



Figura 21– Foso de recogida de aceite.



Protección de Transformador:

El acceso directo al transformador queda impedido por una reja de protección, denominada también defensa del transformador.



Figura 22– Protección del transformador.

Alumbrado:

En el interior del centro de transformación se situarán un mínimo de dos puntos de luz capaces de proporcionar un nivel de iluminación suficiente para la comprobación y maniobra de los elementos del mismo. El nivel medio será como mínimo de 150 lux.

Los focos luminosos estarán colocados sobre soportes rígidos y dispuestos de tal forma que se mantenga la máxima uniformidad posible en la iluminación. Además, se deberá efectuar la sustitución de lámparas sin peligro de contacto con otros elementos en tensión. Se dispondrá también de un punto de luz de emergencia de carácter autónomo que señalará los accesos y evacuaciones del centro de transformación.

El interruptor se situará al lado de la puerta de entrada, de forma que su accionamiento no represente peligro por su proximidad a la media tensión, y accionará los puntos de luz necesarios para la suficiente y uniforme iluminación de todo el recinto del centro de transformación [10].

Ventilación

En el centro de transformación la ventilación del habitáculo del transformador y de todo el centro se realizará de modo natural, mediante rejillas de entrada de aire frío y de salida de aire caliente dispuesta para tal efecto.



Las distintas rejillas de entrada y o salida estarán construidas de modo que impidan el paso de pequeños animales, la entrada de agua de lluvia y los contactos accidentales con partes en tensión si se introdujeran elementos metálicos por las mismas[10[5].

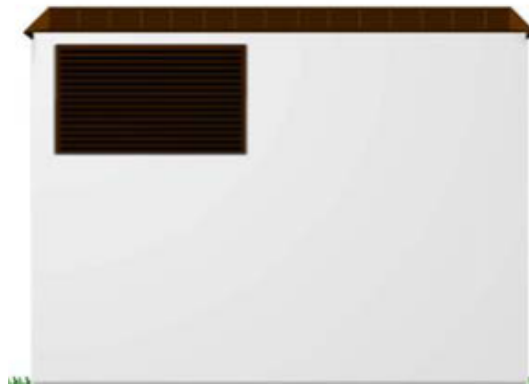


Figura 23- Rejillas de ventilación.

Medidas de seguridad:

Para la protección del personal y equipos, se debe garantizar que[2]:

1- No será posible acceder a las zonas normalmente en tensión, si éstas no han sido puestas a tierra. Por ello, el sistema de enclavamientos interno de las celdas debe afectar al mando del aparato principal, del seccionador de puesta a tierra y a las tapas de acceso a los cables.

2- Las celdas de entrada y salida serán con aislamiento integral y corte en gas, y las conexiones entre sus embarrados deberán ser apantalladas, consiguiendo con ello la insensibilidad a los agentes externos, y evitando de esta forma la pérdida del suministro en los Centros de Transformación interconectados con éste, incluso en el eventual caso de inundación del Centro de Transformación.

3- Las bornas de conexión de cables y fusibles serán fácilmente accesibles a los operarios de forma que, en las operaciones de mantenimiento, la posición de trabajo normal no carezca de visibilidad sobre estas zonas.

4- Los mandos de la aparamenta estarán situados frente al operario en el momento de realizar la operación, y el diseño de la aparamenta protegerá al operario de la salida de gases en caso de un eventual arco interno.



5- El diseño de las celdas impedirá la incidencia de los gases de escape, producidos en el caso de un arco interno, sobre los cables de media tensión y baja tensión. Por ello, esta salida de gases no debe estar enfocada en ningún caso hacia el foso de cables.



4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

4.3.1 Introducción

Tras la reducción de la tensión en el centro de transformación, mediante los elementos definidos en anteriores apartados, en el presente capítulo se establecerán los datos técnicos necesarios para el diseño, cálculo y construcción de la red de distribución de baja tensión, constituida por las líneas de baja tensión, que darán suministro de energía eléctrica a los bloques de viviendas ya definidos en apartados anteriores, incluyendo los distintos servicios (locales comerciales, garajes y servicios generales), también detallados.

En un principio se definirá el tipo de red de baja tensión mediante la cual se dará abastecimiento eléctrico y se fijarán las características más importantes del cable que se utilizará para el tendido de las líneas de baja tensión. Posteriormente se determinarán el número de líneas necesarias para dar servicio a las cajas generales de protección que se instalarán. Las citadas líneas se someterán a estudio en el capítulo de "cálculos justificativos de la red subterránea de baja tensión", comprobando su viabilidad tanto en la sección del conductor como en su longitud para soportar las condiciones de carga a las que serán sometidas.

Finalmente se detallarán los elementos mediante los cuales será posible la distribución de energía eléctrica desde el cuadro de baja tensión del centro de transformación hasta las cajas generales de protección: canalizaciones, accesorios, fusibles y cajas generales de protección.

4.3.2 Características de la red de baja tensión

La empresa que dará suministro eléctrico a la instalación de estudio, tal como sea ido reiterando, será Iberdrola.

Se detallan a continuación los datos básicos de la red de baja tensión a tener en cuenta para el estudio, cálculo, diseño y construcción de la red de distribución de baja tensión, proporcionadas por la compañía en su MT 2.51.01 [11]:

Clase de corriente..... Alterna trifásica
Frecuencia..... 50 Hz
Tensión nominal..... 230/400 V
Tensión máxima entre fase y tierra..... 250 V
Sistema de puesta a tierra..... Neutro unido directamente a tierra
Aislamiento de los cables de red..... 0,6/1 kV
Intensidad máxima de cortocircuito trifásico. 50 kA
Factor de Potencia..... 0,90

4.3.3 Conductores

Se utilizarán conductores de Aluminio con aislamiento de dieléctrico seco, tipo XZ1, según recomendaciones UNESA 3301 de las siguientes características, con la siguiente nomenclatura, según manual técnico de Iberdrola en su MT 2.51.01 [11]. Por recomendación de la compañía, en nuevas líneas se instala directamente cable con esta sección:

Naturaleza del conductor.....	Aluminio
Secciones.....	240 y 150 mm ²
Tensión asignada.....	0,6/1 kV
Tipo constructivo.....	Unipolar
Aislamiento.....	Polietileno reticulado (XLPE)
Cubierta.....	Poliolefina
Denominación.....	XZ1 0,6/1kV

- Aislamiento: polietileno reticulado (X).
- Cubierta exterior: poliolefina termoplástica (Z1).
- Protección contra el fuego (S)

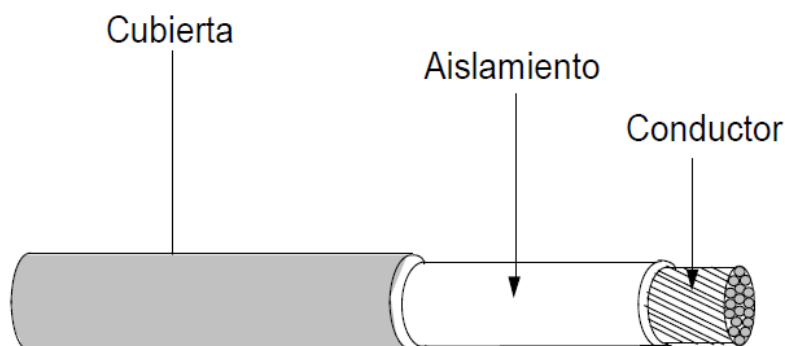


Figura 24- Denominación cable y elementos conductor XZ1. (NI 56.37.01)[20]

De acuerdo a lo requerido por la compañía en su manual de baja tensión MT 2.51.01 [11], todas las líneas serán siempre de cuatro conductores, al realizarse la distribución en trifásico, tres para fase y uno para neutro. Serán de sección de 240 mm² de fase y 150 mm² para el neutro.

Los conductores utilizados estarán debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen y tendrán resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos.



Las conexiones de los conductores subterráneos, también siguiendo las prescripciones de Iberdrola [11], se efectuarán siguiendo métodos o sistemas que garanticen una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento. En la elección de los conductores, se debe tener en consideración el que en ningún tramo la intensidad máxima sobrepase la capacidad del conductor y que la caída de tensión máxima no sobrepase el 5% de la nominal.

4.3.4 Líneas de baja tensión

El tendido de las nuevas líneas de baja tensión se realizará por completo en nueva canalización subterránea en vía pública, como queda definido en los planos N° 3 y 4. El comienzo de las líneas tiene su origen en el cuadro de baja tensión del nuevo centro de transformación, tras haberse producido la transformación de media tensión (20 kV) a baja tensión (400 V). Este cuadro de baja tensión, tal como se ha definido por indicaciones de la compañía suministradora, cuenta con 8 salidas libres para dar abastecimiento eléctrico a los distintos abonados.

La finalización de las citadas líneas de baja tensión de distribución se encontrará en las cajas generales de protección, que se instalarán en las fachadas de los bloques de viviendas y locales comerciales, quedando embornadas a las cajas mediante terminales homologados por la compañía eléctrica. Para la realización de la pertinente canalización, necesaria para el tendido de las líneas, se cumplirá en todo momento con la normativa municipal (solicitud de permisos al Ayuntamiento de Majadahonda para apertura de canalización en vía pública), indicaciones del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1] y exigencias de la compañía suministradora en cuanto al trazado a seguir.

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1] en su ITC-BT-11, se define acometida como “parte de la instalación de la red de distribución que alimenta la caja o cajas generales de protección (CGP) o unidad funcional equivalente”.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1], en la misma Instrucción Técnica Complementaria, también designa los tipos de acometidas atendiendo a su trazado, sistema de instalación y a las características de la red, en:



TIPO	SISTEMA DE INSTALACIÓN
Aéreas	Posada sobre fachada
	Tensada sobre poste
Subterráneas	Con entrada y salida
	En derivación
Mixtas	Aero-Subterráneas

Tabla 12– Tipos de acometidas según Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. [1]

En el caso a estudio del presente proyecto, por razones de situación y requerimiento de la compañía, la acometida a ejecutar será de tipo subterránea, al igual que el resto de la canalización que compone la nueva red subterránea de baja tensión.

Para el tendido de la nueva red subterránea de baja tensión desde el cuadro de baja tensión hasta las cajas generales de protección bajo tubo, según la ITC-BT-07 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1], hay que tener en consideración que no se podrá instalar más de un circuito por tubo.

Una vez definidas las consideraciones de la nuevas líneas de baja tensión en cuanto a cable y tipo de tendido hay que definir el número de nuevas líneas que se van a sacar desde el cuadro de baja tensión del centro de transformación, realizándose una estimación en este capítulo de “Descripción de las instalaciones de baja tensión” para posteriormente, en el apartado de cálculos, comprobar que las secciones de líneas soportan la carga que se le va a adjudicar en el presente capítulo.

Tal como se había definido en el capítulo del centro de transformación, el transformador de 400 KVA instalado lleva asociado un cuadro de baja tensión, tipo EAS-1600-8, con capacidad de hasta 8 salidas. Es decir, desde el nuevo centro de transformación podrían salir hasta un máximo de 8 líneas de baja tensión.

Para definir el número de líneas y su carga, así como el trazado de las mismas, se ha tenido en cuenta las siguientes premisas:

- La potencia a suministrar a cada carga o conjunto de cargas (según lo definido en el capítulo de “Previsión de Cargas”).
- Situación de las cajas generales de protección.
- La potencia de cada salida del cuadro de baja tensión (definida en función del calibre del fusible a instalar).



- La potencia máxima capaz de transportar por cada línea de baja tensión ($P_{\max} = 155,88$ kW) en función de la sección de cable utilizado y por consecuencia el fusible a utilizar para proteger el cable. Según la expresión para la potencia:

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 250 \cdot 0,9 = 155,88 \text{ kW} \quad (15)$$

donde:

P = potencia (kW).

I = calibre del fusible asociado (se considerará un fusible normalizado de 250 A).

U = tensión de baja tensión (400 V).

Cos ϕ = factor de potencia (0,9).

- La potencia del transformador (1 de 400 kVA).

Atendiendo a los criterios definidos anteriormente, se adjunta a continuación la asignación de líneas, cajas generales de protección y cargas (la designación de la numeración de las cajas generes de protección aparece en los planos adjuntos)

Nº LÍNEA	CGP/CPM	PORTALES SUMINISTRO	CARGA PREVISTA (kW)	PORCENTAJE CARGA LÍNEA (%)
L-01	1,2	1	134,5	86,28
L-02	5,6	2	134,5	86,28
L-03	3,4	3	134,5	86,28
L-04	8,9	4	134,5	86,28
L-05	7	SOCORRO	15	9,62

Tabla 13– Asignación de líneas, cajas y cargas.

Hay que tener en consideración que el porcentaje de carga de la línea se ha hecho sobre la carga máxima de la línea, considerando que se instala un fusible de 250 A en el cuadro de baja tensión del centro. Por ello, en este apartado de descripción, se ha tenido en cuenta la intensidad máxima admisible de la línea igual a la del fusible instalado. En el apartado de cálculos se determinará la intensidad máxima admisible real tras aplicarle los factores correctores que define el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1], lo cual indicará la carga real que puede soportar cada línea.

Indicar que, cuando una de las líneas de servicio a más de una caja general de protección, para la caja en la que no finalice la línea el tipo de acometida será de entrada y salida para regresar a la canalización y suministrar a la siguiente caja.



Finalmente, reseñar que, dado que el cuadro de baja tensión dispone de 8 salidas, y que por la distribución de cargas proyectadas no se utilizarán la totalidad de las mismas, se han numerado las líneas de forma correlativa con cada una de las salidas del cuadro. De esta manera, para futuros suministros que determine la compañía suministradora, quedarán libres las salidas 6, 7 y 8.

4.3.5 Canalización

La nueva canalización para el tendido de las cinco nuevas líneas de baja tensión, tal como se justificará a continuación y quedará reflejado en el plano N°3, se realizará en dos tramos, para dar suministro a todas las cajas generales de protección, realizándose por completo bajo acera en vía pública.

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1], en su instrucción ITC-BT-07, indica que:

- Se evitarán, en lo posible, los cambios de dirección de los tubos. En los puntos donde se produzcan y para facilitar la manipulación de los cables, se dispondrán arquetas con tapa, registrables o no. Para facilitar el tendido de los cables, en los tramos rectos se instalarán arquetas intermedias, registrables, ciegas o simplemente calas de tiro, como máximo cada 40 m. Esta distancia podrá variarse de forma razonable, en función de derivaciones, cruces u otros condicionantes viarios. A la entrada en las arquetas, los tubos deberán quedar debidamente sellados en sus extremos para evitar la entrada de roedores y de agua.

El criterio a la hora de elegir el número de tubos a instalar, en los dos tramos nuevos de canalización, es el de instalar tantos tubos como líneas se van a tender más un cincuenta por ciento de tubos extras, para futuros suministros de nuevas líneas. De esta manera, para el primer tramo por el que circularán dos líneas se instalarán cuatro tubos y en el segundo tramo se situarán seis tubos, al instalar tres líneas.

La compañía suministradora en su MT 2-51-01[11] y su NI 52.95.03 [21] también exige que para el tendido de líneas de baja tensión bajo nueva canalización los tubos tienen que tener un diámetro de 160 mm, realizados en plástico de doble pared, corrugados exteriormente y lisos en su interior fabricados en polietileno o similar, por extrusión, siendo su parte exterior de color teja.



Figura 25-Tubo corrugado rojo de 160 mm de diámetro.

El tipo de zanja estándar para el tendido de las líneas de baja tensión se realizará bajo acera en asiento de arena, teniendo los elementos básicos que se designan a continuación, según MT 2-51-01[11] de Iberdrola:

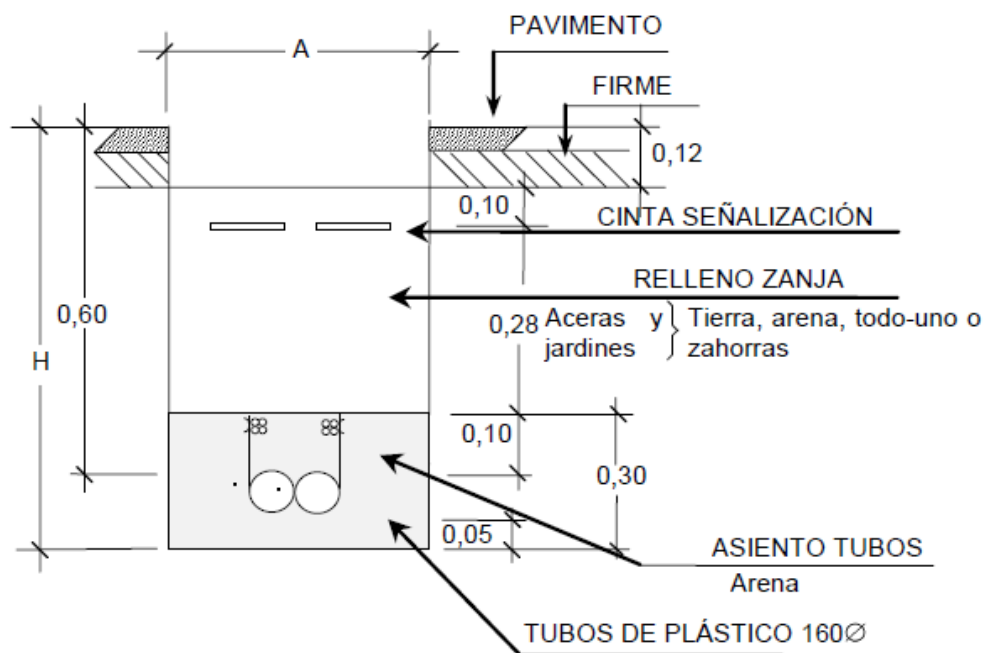
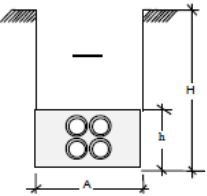
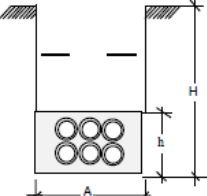


Figura 26- Sección estándar detallada de tubos para nueva canalización.[11]

Para los dos tramos indicados, tal como se ha descrito previamente se colocarán cuatro y seis tubos respectivamente, teniendo las dimensiones que se indican a continuación [11]:

CANALIZACIÓN ENTUBADA BT y MT TUBO 160 Ø - Asiento arena					
Perfil	Nº Tubos	A (m)	H ** (m)	Altura asiento h (m)	Cinta señalización cable
	4 (2P)	0,35	0,97	0,50	1
	6 (2P)	0,50	0,97	0,50	2

** Se ha indicado la profundidad de la zanja con las cotas mínimas

Tabla 14– Sección de canalización para cuatro y seis tubos. [11]

Tal como define la MT 2-51-01 [11] los tubos de la canalización se dispondrán sobre lecho de arena debidamente enterrados. Se seguirán las dimensiones que se han indicado en la tabla X, situándose los tubos en dos niveles, como aparece reflejado. En el fondo de la zanja se colocará una solera de limpieza de 0,05 m de espesor de arena sobre la que se depositarán los tubos dispuestos por planos. A continuación se colocará otra capa de arena con un espesor de 0,10 m por encima de los tubos y envolviéndolos completamente. Finalmente, se hace el relleno de la zanja, dejando libre el firme y el espesor del pavimento; para este relleno se utilizará tierra procedente de la excavación y tierra de préstamo, todo-uno, zahorra o arena. Después se colocará una capa de tierra vegetal o un firme de hormigón de HM12,5 de unos 0,12 m de espesor y por último se repondrá el pavimento a ser posible del mismo tipo y calidad del que existía antes de realizar la apertura.

En los cambios de dirección de los dos tramos de canalización, tal como aparece indicado en el plano N°03, se situarán arquetas para facilitar el tendido de las nuevas líneas, proporcionándole a los conductores un mayor radio de curvatura.

Las arquetas están compuestas por un marco, situado sobre una fábrica de ladrillo, y una tapa que se apoya sobre el marco. Deberán seguirse las especificaciones de la compañía suministradora en su NI 50-20-02[22] para arquetas situadas en acera, siendo del tipo M2T2:

- M2: Marco 700 mm. x 700 mm.
- T2: Tapa 665 mm. x 665 mm.
- Las tapas y marcos se fabricarán con fundición de grafito esferoidal tipo EN-GJS-500-7 según UNE EN 1563.

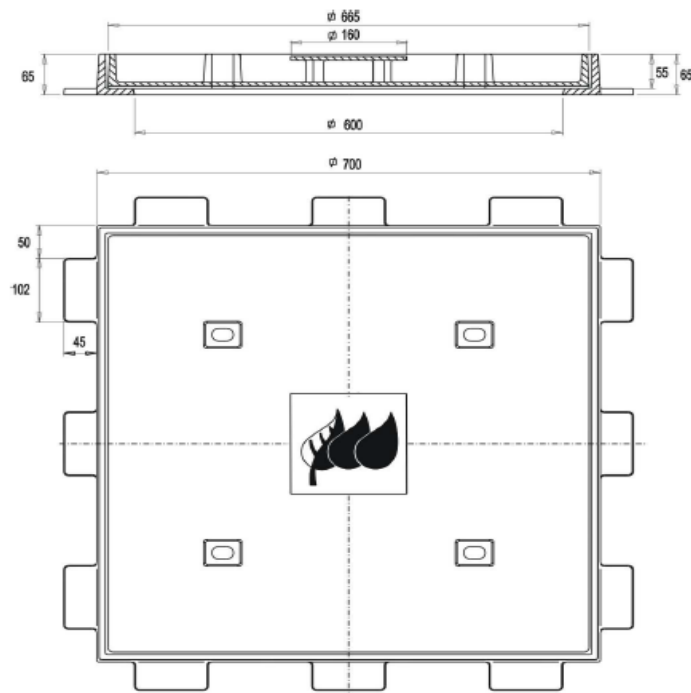


Figura 27- Marco y tapa M2T2. [11]

4.3.6 Cajas generales de protección

Como se ha ido explicando en anteriores apartados las nuevas líneas subterráneas de baja tensión finalizarán en las cajas generales de protección, embornando en los bornes de las cajas mediante terminales bimetálicos homologados por la compañía suministradora, como se definirá en un apartado posterior.



Según la MT 2-51-01 [11] de Iberdrola las cajas generales de protección y su instalación, cumplirán con la norma NI 76.50.01 [23]. El material de la envolvente será aislante, como mínimo, de la Clase A, según UNE 21 305.

En los casos de los locales comerciales, en lugar de cajas generales de protección, se instalarán cajas generales de protección y medida, las cuales podrán usarse también para seccionamiento de la red. Se ajustará a las norma NI 42.72.00. [24]

Se instalarán, tal como aparece indicado en el plano N°06, 5 cajas generales de protección (1 por portal + CGP para línea de socorro) y 4 cajas de protección y medida (1 por local comercial), como se definirá en el presente apartado.

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1] en su ITC-BT-13, las cajas generales de protección son "las cajas que alojan los elementos de protección de las líneas generales de alimentación (LGA)". En el presente proyecto no se entrará en definir las líneas generales de alimentación, las cuales son el comienzo de la instalación de enlace, propiedad del usuario, siendo responsable de su conservación y mantenimiento.

Con respecto a las Cajas Generales de Protección la ITC-BT-13 hace otras indicaciones de obligado cumplimiento [1]:

- Se instalarán preferentemente sobre las fachadas exteriores de los edificios, en lugares de libre y permanente acceso. Su situación se fijará de común acuerdo entre la propiedad y la empresa suministradora.
- Cuando la acometida sea subterránea se instalará siempre en un nicho en pared, que se cerrará con una puerta preferentemente metálica, con grado de protección IK 10 según UNE-EN 50.102, revestida exteriormente de acuerdo con las características del entorno y estará protegida contra la corrosión, disponiendo de una cerradura o candado normalizado por la empresa suministradora. La parte inferior de la puerta se encontrará a un mínimo de 30 cm del suelo.
- En el nicho se dejarán previstos los orificios necesarios para alojar los conductos para la entrada de las acometidas subterráneas de la red general.
- En todos los casos se procurará que la situación elegida, esté lo más próxima posible a la red de distribución pública y que quede alejada o en su defecto protegida adecuadamente, de otras instalaciones tales como de agua, gas, teléfono, etc., según se indica en ITC-BT-06 y ITC-BT-07.



La misma Instrucción técnica del reglamento [1] especifica que las cajas generales de protección a utilizar corresponderán a uno de los tipos recogidos en las especificaciones técnicas de la empresa suministradora que hayan sido aprobadas por la Administración Pública competente. Dentro de las mismas se instalarán cortacircuitos fusibles en todos los conductores de fase o polares, con poder de corte al menos igual a la corriente de cortocircuito prevista en el punto de su instalación. El neutro estará constituido por una conexión amovible situada a la izquierda de las fases, colocada la caja general de protección en posición de servicio, y dispondrá también de un borne de conexión para su puesta a tierra si procede.

El esquema de caja general de protección a utilizar estará en función de las necesidades del suministro solicitado, del tipo de red de alimentación y lo determinará la empresa suministradora. En el caso de alimentación subterránea, las cajas generales de protección podrán tener prevista la entrada y salida de la línea de distribución.

Las cajas generales de protección cumplirán todo lo que sobre el particular se indica en la Norma UNE-EN 60.439-1, tendrán grado de inflamabilidad según se indica en la norma UNE-EN 60.439-3, una vez instaladas tendrán un grado de protección IP43 según UNE 20.324 e IK 08 según UNE-EN 50.102 y serán precintables.[1]

Para terminar de definir las nuevas cajas, se define un tipo especial de caja, la caja de protección y medida. Establece el Reglamento [1] que para el caso de suministros para un único usuario o dos usuarios alimentados desde el mismo lugar, al no existir línea general de alimentación, podrá simplificarse la instalación colocando en un único elemento, la caja general de protección y el equipo de medida; dicho elemento se denominará caja de protección y medida.

Como se ha indicado anteriormente y siguiendo el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1], se instalarán cinco cajas generales de protección en los límites de fachada de los nuevos bloques de viviendas con la vía pública, empotrados en la misma fachada. El esquema de caja a utilizar es el CGP 10-250/250/400, la cual tiene una intensidad nominal asignada para los fusibles a instalar en las bases de cortacircuitos fusibles (bases unipolares cortocircuito – BUC) que la componen de 250 A. La intensidad máxima de paso permitida es 400 A. Además de las bases portafusibles la caja general de protección dispone de unos bornes sobre los que embornan los conductores de las nuevas líneas de baja tensión mediante terminales homologados. El último elemento que compone la caja general de protección, al ir empotradas en un nicho de la fachada, es la puerta metálica que aísla los distintos componentes de la caja del exterior.



Figura 28 – Caja general de protección.

Además de las cajas generales de protección también se instalarán cuatro cajas generales de protección y medida, ya que el suministro es para un único usuario, que es el local comercial. Tal como indica el Reglamento de Baja [1], en este tipo de instalación la protección de la instalación interior y la medida se encuentran en la misma caja. En esta instalación se situarán cajas de protección y medida para dos contadores trifásicos, equipada con contador multitarifa realizándose su montaje, también, sobre nicho en la fachada de los locales comerciales. En cuanto a su disposición, tienen un módulo inferior en el que embornan las líneas, tal como se realiza en las cajas generales de protección. Además dispone de un módulo superior en el que se encuentra el contador del abonado.



Figura 29– Caja de protección y medida.

4.3.7 Puesta a tierra del neutro

Como se indica en el Manual de Iberdrola en su MT2.51.01 [11] el conductor neutro de las redes subterráneas de distribución pública, se conectará a tierra en el centro de transformación en la forma prevista en el Reglamento Técnico de Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación [2]; fuera del centro de transformación se conectará a tierra en otros puntos de la red, con objeto de disminuir su resistencia global a tierra, según Reglamento de Baja Tensión [1].

El neutro se conectará a tierra a lo largo de la red, en todas las cajas generales de protección o en las cajas de seccionamiento o en las cajas generales de protección medida, consistiendo dicha puesta a tierra en una pica, unida al borne del neutro mediante un conductor aislado de 50 mm² de Cu, como mínimo. El conductor neutro no podrá ser interrumpido en las redes de distribución.



4.3.8 Accesorios

Según prescripción de la compañía [11] los terminales deberán ser adecuados a las características ambientales (interior, exterior, contaminación, etc.). Las características de los accesorios serán las establecidas en la NI 56.88.01. [17]

Se utilizarán cintas de PVC de 19 mm de anchura, con adhesivo sensible a la presión, para la identificación de las fases de los cables; con colores: verde, amarillo y marrón para las fases y gris para el neutro.



5 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

5.1 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN

5.1.1 Categoría de la red

La red de media tensión objeto del presente Proyecto es de de Categoría A, que según el Reglamento de Alta Tensión en su ITC-LAT 06[3], es capaz de eliminar los defectos a tierra tan rápidamente como sea posible y en cualquier caso antes de 1 minuto.

5.1.2 Tensión asignada

La tensión nominal de la red de media tensión es de 20 kV, su tensión más elevada es de 24 kV, y al ser de categoría A, el cable a utilizar y sus accesorios tendrán que ser de tensión asignada 12/20 kV, y de tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo de 125 kV.

Además volver a reseñar que la línea que se instala para entroncar el nuevo centro de transformación en la red subterránea de media tensión mediante dos juegos de empalmes tiene la siguiente configuración: HEPRZ-1 12/20 kV 3(1x240) mm² Al +H16.

5.1.3 Intensidad máxima de la red

La intensidad de la red en un sistema trifásico de alta tensión viene determinada por, según el Reglamento de Alta Tensión [3]:

$$I_{\text{máx}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi} \quad (15)$$

Siendo:

S = Potencia máxima de las cargas alimentadas [kVA]

U = Tensión nominal de la red [kV]

I = Intensidad máxima de la red [A]

Cos ϕ = factor de potencia

Para el caso de estudio se tienen unos valores de:

S= 400 KVA (Potencia transformador de este Proyecto)

U= 20 KV (dato de la red de media tensión existente)

Cos ϕ = 0,9 (factor de potencia)



$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20.0,9} = 12,83 \text{ A} \quad (16)$$

De manera que la intensidad nominal de esta instalación sería de 12,83 A.

La instalación enterrada bajo tubo es un caso especial de la instalación directamente enterrada. Para el cálculo teórico de la intensidad máxima admisible se considerarán las siguientes condiciones [3]:

- Se considera conductor con aislamiento seco hasta 18/30 kV formado por una terna de cables unipolares agrupados en contacto, entubados en toda su longitud.
- Se instala una terna por tubo.
- La relación de diámetros entre tubo y conjunto de tres cables unipolares no será inferior a 1.5.
- Se considera una resistividad térmica del tubo de 3,5 K.m/W.
- La zanja a considerar es de 1 m de profundidad (medido hasta la parte superior del cable).
- El terreno se considera que tiene una resistividad térmica media de 1,5 K.m/W con temperatura ambiente del terreno a dicha profundidad de 25 °C.
- Temperatura del aire ambiente de 40 °C.

De acuerdo al Reglamento de Alta Tensión en su ITC-LAT 06 [3] y a los condicionamientos marcados por la compañía suministradora[9], la intensidad máxima permitidas para la línea de media tensión con cable HEPRZ-1 12/20 KV 3(1x240) mm² Al + H16 (sección impuesta por la compañía) es de 345 A.

Sección (mm ²)	Tipo de aislamiento	
	XLPE	HEPR
150	245	255
240	320	345
400	415	450

Tabla 15– Intensidades máximas admisibles en función de la sección de conductor. [3]

Las condiciones del tipo de instalaciones y la disposición de los conductores, influyen en las intensidades máximas admisibles. En el caso de estudio se tiene una instalación enterrada bajo tubo con dos circuitos (entrada y salida al nuevo centro de transformación a la red de media tensión existente), teniéndose que tener en cuenta para el cálculo de la intensidad máxima admisible, según el Reglamento de Líneas de Alta Tensión [3].



Como se ha indicado, existen unos condicionantes que afectan al cálculo de la Intensidad máxima admisible teórica, teniéndose que aplicar unos coeficientes al valor calculado anteriormente (345 A).

Primeramente, según se ha explicado anteriormente, se tienen dos ternas de línea de media tensión para la entra y salida al centro de transformación situadas a una distancia de 0,2 m. El Reglamento de Líneas de Alta Tensión en su ITC-LAT 06[3] establece en base a la tabla adjunta un coeficiente de 0,83 (Cable bajo tubo – d=0,2 m – Número de ternas 2 ----- COEFICIENTE 1=0,83):

Tipo de instalación	Separación de los ternos	Número de ternos de la zanja								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cables directamente enterrados	En contacto (d=0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-
	d = 0,8 m	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	-	-	-
Cables bajo tubo	En contacto (d=0 cm)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58
	d = 0,4 m	0,87	0,80	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-
	d = 0,8 m	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-

Tabla 16– Coeficientes en función de número de ternas y distancia entre ellas. [3]

Otro condicionante es el relativo a la profundidad de zanja. La hipótesis de cálculo inicial fijaba una profundidad, pero tal como se indicó en la memoria de la línea subterránea de media tensión la profundidad en cruces de calzada sería de 0,8 m hasta la parte superior del cable. Por ello, según otra tabla del Reglamento de Líneas de Alta Tensión en su ITC-LAT 06 [3], establece un coeficiente de 1,03 (Cables bajo tubo de sección >185 mm² – Profundidad 0,8 m - ---- COEFICIENTE 2=1,03).



Profundidad (m)	Cables enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$
0,50	1,06	1,09	1,06	1,08
0,60	1,04	1,07	1,04	1,06
0,80	1,02	1,03	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2,00	0,95	0,93	0,95	0,94
2,50	0,93	0,91	0,93	0,92
3,00	0,92	0,89	0,92	0,91

Tabla 17– Coeficientes en función de la profundidad de los cables.

Con estos dos coeficientes se puede hacer un cálculo más cercano al real sobre la Intensidad máxima admisible:

$$\text{Imáx. admis. teórica corregida} = \text{Imáx. admis. teórica corregida} \cdot \text{COEF.1} \cdot \text{COEF.2} \quad (17)$$

Con los valores calculados se tendría:

$$\text{Imáx. admis. teórica corregida} = 345 \cdot 0,83 \cdot 1,03 = 294,94 \text{ A} \quad (18)$$

Este valor está muy alejado de los 12,83 A calculado para la instalación del proyecto.

5.1.4 Intensidad máxima de cortocircuito

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 350 MVA (lo que equivale a una corriente de cortocircuito de 13,5 kA eficaces) y una intensidad de defecto a tierra limitada a 300 A en la red de distribución, con un tiempo de despeje de la falta de 0,5 segundos, datos proporcionados por Iberdrola [9].

La intensidad de cortocircuito admisible viene determinada por la temperatura máxima instantánea en los conductores. En base a esta temperatura en servicio permanente, se han calculado las intensidades de cortocircuito en kA, para diferentes tiempos de duración en los conductores.

Según la tabla nº 5 del Reglamento de Alta Tensión [3], para HEPRZ-1 12/20 kV 3(1x240) mm² Al + H16 la temperatura máxima de servicio permanente es de 105 °C y la temperatura de cortocircuito de 250°C. La diferencia entre ambas temperaturas es $\Delta\theta = 145$ °C. En el cálculo se ha considerado que todo el calor desprendido durante el proceso es absorbido por los conductores, ya que su masa es muy grande en comparación con la superficie de disipación de



calor y la duración del proceso es relativamente corta (proceso adiabático). En estas condiciones:

$$\frac{I}{S} = \frac{K}{\sqrt{t}} \quad (19)$$

En donde:

I = corriente de cortocircuito, en amperios

S = sección del conductor, en mm²

K = coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de las temperaturas al inicio y final del cortocircuito.

t = duración del cortocircuito, en segundo

Si se desea conocer la intensidad máxima de cortocircuito para un valor de t distinto de los tabulados, se aplica la fórmula anterior. K coincide con el valor de intensidad tabulado para t = 1s.

Si, por otro lado, interesa conocer la densidad de corriente de cortocircuito correspondiente a una temperatura inicial θ_i diferente a la máxima asignada al conductor para servicio permanente θ_s , basta multiplicar el correspondiente valor de la tabla por el factor de corrección, donde $\beta = 235$ para el cobre y $\beta = 228$ para el aluminio.

Según la tabla nº 26 del Reglamento de Alta Tensión [3] para HEPRZ-1 12/20 kV 3(1x240) mm² Al + H16 y para una duración del cortocircuito de 0,5 segundos la densidad de corriente es de 126 A/mm², por lo que se puede calcular la intensidad de cortocircuito que aguantará el cable:

$$I_{cc} = 126 \text{ A/mm}^2 \cdot 240 \text{ mm}^2 = 30,24 \text{ kA} > I_{cc \text{ red}} = 350 \text{ MVA} / (R_3 \cdot 15 \text{ kV}) = 13,47 \text{ kA} \quad (20)$$

El dimensionamiento mínimo de la pantalla será tal que permita el paso de una intensidad mínima de 1.000 A durante 1 segundo, según el Reglamento de Alta Tensión [3.] Para la pantalla H16 y para una duración de cortocircuito de 0.5 sg, soporta una intensidad de 2.850 A [3].

En ambos casos, la intensidad de cortocircuito que aparecerá tanto en conductores (en caso de cortocircuito trifásico) como en las pantallas (cortocircuito a tierra) indicadas anteriormente será inferior a la máxima admisible por la línea para un tiempo de despeje de la falta de 0,5 segundos, por lo que el cable subterráneo con conductores unipolares de aluminio tipo HEPRZ1 12/20 kV 1x240 k Al + H16 es válido según el criterio de soportar las intensidades de cortocircuito.



5.1.5 Caída de tensión

La caída de tensión por resistencia y reactancia de una línea (no se considera la influencia de la capacidad), viene dada por la fórmula [3]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \quad (21)$$

Donde:

I = Intensidad calculada en el anterior apartado(A).

L = Longitud de la línea (km).

R = Resistencia del conductor a la temperatura de servicio (Ω/km).

X = Reactancia inductiva del conductor a la frecuencia de 50 Hz (Ω/km).

$\cos \varphi$ = Factor de potencia, se considerará $\cos \varphi = 0,9$

Con los valores del Proyecto:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 12,83 \cdot 0,046 \cdot (0,169 \cdot 0,9 + 0,105 \cdot 0,43) = 0,2016 \quad (22)$$

El porcentaje de caída de tensión sería:

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{0,2016}{20,000} \cdot 100 = 0,001\% \quad (23)$$

Valor muy por debajo del 5% de caída de tensión considerado como admisible para las líneas subterráneas de media tensión.



5.2 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Para el dimensionado del nuevo centro es necesario el cálculo de una serie de parámetros [4] [27] [25].

5.2.1 Intensidad de alta tensión

La intensidad primaria I_p en un sistema trifásico de alta tensión viene determinada por:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (24)$$

Siendo:

S = Potencia del transformador [kVA]

U_p = Tensión primaria [kV]

I_p = Intensidad primaria [A]

En el caso a estudio la tensión de la red es de 20 kV.

Para el transformador, la potencia es de 400 kVA.

$I_p = 11,55 \text{ A}$

5.2.2 Intensidad de baja tensión

La intensidad secundaria I_s en un sistema trifásico viene determinada por:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_s} \quad (25)$$

Siendo:

S = Potencia del transformador [kVA]

U_s = Tensión secundaria [kV]

I_s = Intensidad secundaria [A]



Para el transformador, la potencia es de 400 kVA, y la tensión secundaria es de 420 V en vacío, por lo que la intensidad en las salidas de 420 V en vacío puede alcanzar el valor:

$$I_s = 549,86 \text{ A.}$$

5.2.3 Cortocircuitos

Cálculo de la intensidad de cortocircuito lado alta tensión:

Para el cálculo de las intensidades que origina un cortocircuito, se tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de la red en alta tensión, valor especificado por la compañía eléctrica [9].

Se utilizará la siguiente expresión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (26)$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red [MVA].

U_p = Tensión primaria [kV].

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria [kA].

La potencia de cortocircuito es de 350 MVA (dato proporcionado por Iberdrola) y la tensión de servicio 20 kV; por lo tanto la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccp} = 10,10 \text{ kA}$$

Cálculo de la intensidad de cortocircuito lado baja tensión:

Para este cálculo se tendrá en cuenta la impedancia de la red de alta tensión. Vendrá determinada por la expresión:

$$I_{css} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot \frac{U_{cc}}{100} \cdot U_s} \quad (27)$$

Siendo:

S Potencia del transformador [kVA].

U_{cc} Tensión de cortocircuito del transformador [%].

U_s Tensión secundaria [kV].



I_{ccs} Intensidad de cortocircuito secundaria [kA].

Para el transformador, la potencia es de 400 kVA, la tensión porcentual del cortocircuito del 4%, y la tensión secundaria es de 420 V en vacío.

La intensidad de cortocircuito en el lado de baja tensión con 420 V en vacío será:

$$I_{ccs} = 13,75 \text{ kA}$$

5.2.4 Dimensionado del embarrado de media tensión

Las celdas homologadas y certificadas a utilizar se han sometido a ensayos para certificar los valores indicados en las placas de características, por lo que no es necesario realizar cálculos teóricos ni hipótesis de comportamiento de celdas.

Comprobación por densidad de corriente:

La comprobación por densidad de corriente tiene por objeto verificar que el conductor indicado es capaz de conducir la corriente nominal máxima sin superar la densidad máxima posible para el material conductor. Esto, además de mediante cálculos teóricos, se puede comprobar realizando un ensayo de intensidad nominal, que con objeto de disponer de suficiente margen de seguridad, se considerará que es la intensidad del bucle, que en este caso es de 400 A.

Luego el conductor de cobre sumergido en fluido dieléctrico refrigerante tiene una sección de 150 mm² con lo que la densidad de corriente es de:

$D = I / S = 400 / 150 = 2.66 \text{ A / mm}^2 \quad (28)$
--

El cable de 150 mm² de cobre según la ITC-LA7 07[3], está capacitado para soportar una densidad de 3,4 A/mm² al aire, condición mucho más desfavorable que sumergido en fluido dieléctrico, por lo que su empleo es correcto.

Comprobación por solicitud electrodinámica:

La intensidad dinámica de cortocircuito se valora en aproximadamente 2,5 veces la intensidad eficaz de cortocircuito calculada anteriormente ($I_{ccs} = 13,75 \text{ kA}$), por lo que:

$$I_{cc(din)} = 33,7 \text{ kA}$$

Comprobación por solicitud térmica:

La comprobación térmica tiene por objeto comprobar que no se producirá un calentamiento excesivo de la paramenta por defecto de un cortocircuito. Esta comprobación se puede realizar mediante cálculos teóricos, pero preferentemente se debe realizar un ensayo según la



normativa en vigor. En este caso, la intensidad considerada es la eficaz de cortocircuito, cuyo valor es:

$$I_{cc(ter)} = 13,5 \text{ kA.}$$

5.2.5 Protección contra sobrecargas y cortocircuitos

Los transformadores están protegidos tanto en media tensión como en baja tensión. En media tensión la protección la efectúan las celdas asociadas a esos transformadores, mientras que en baja tensión la protección se incorpora en los cuadros de baja tensión de las líneas de salida.

Transformador:

La protección en media tensión de este transformador se realiza utilizando una celda de interruptor con fusibles (celda de protección), siendo éstos los que efectúan la protección ante eventuales cortocircuitos.

Estos fusibles realizan su función de protección de forma ultrarrápida (de tiempos inferiores a los de los interruptores automáticos), ya que su fusión evita incluso el paso del máximo de las corrientes de cortocircuitos por toda la instalación.

Los fusibles se seleccionan para:

- Permitir el funcionamiento continuado a la intensidad nominal, requerida para esta aplicación.
- No producir disparos durante el arranque en vacío de los transformadores, tiempo en el que la intensidad es muy superior a la nominal y de una duración intermedia.
- No producir disparos cuando se producen corrientes de entre 10 y 20 veces la nominal, siempre que su duración sea inferior a 0,1 s, evitando así que los fenómenos transitorios provoquen interrupciones del suministro.

Sin embargo, los fusibles no constituyen una protección suficiente contra las sobrecargas, que tendrán que ser evitadas incluyendo un relé de protección de transformador, o si no es posible, una protección térmica del transformador.

La intensidad nominal de estos fusibles será de 40 A para el transformador objeto de estudio de 400 kVA.

La celda de protección de los transformadores no incorpora relé, al considerarse suficiente el empleo de estas protecciones.

Termómetro:

El termómetro verifica que la temperatura del dieléctrico del transformador no supera los valores máximos admisibles.



Protecciones en BT:

Las salidas de baja tensión cuentan con fusibles en todas las salidas, con una intensidad nominal igual al valor de la intensidad nominal exigida a esa salida y un poder de corte como mínimo igual a la corriente de cortocircuito correspondiente, según lo calculado anteriormente.

5.2.6 Interconexión de media tensión

La interconexión de media tensión entre la celda de protección y el transformador de 400 kVA, estará formada por una línea de unos 10 metros de longitud aproximada, con conductores unipolares de media tensión de aislamiento seco HEPRZ-1 12/20 kV 3x(1x50) mm² Al + H16, y botellas terminales de interior enchufables en ambos extremos con tensión de aislamiento de 20 kV.

Los cables que se utilizan en esta instalación, descritos en la memoria, deberán ser capaces de soportar los parámetros de la red.

Transformador

La intensidad nominal demandada por este transformador es igual a 24,2 A que es inferior al valor máximo admisible por el cable.

Este valor es de 150 A para un cable de sección de 50 mm² de Al, según el fabricante.

5.2.7 Interconexión de baja tensión

La interconexión de baja tensión del transformador, estará formada por una línea de unos 5 metros de longitud aproximada al aire, con conductores unipolares de baja tensión de aislamiento seco XZ1 0,6/1 kV 3x (1x240)+2(1x240) mm² Al para las fases + neutro. Siguiendo los datos marcadas por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión en la ITC BT 07 apartado 3 tabla 11[3]:

$\text{Intensidad máxima admisible} = 3 \times 420 = 1.260 \text{ A} \quad (29)$
--

Al ser una longitud muy pequeña, estar completamente al aire, y separadas las distintas ternas de cada fase, se considera un coeficiente de corrección igual a la unidad 1.00, por lo que la intensidad máxima admisible de la interconexión es mayor que la intensidad asignada al embarrado de baja tensión del cuadro de baja tensión del transformador, en este caso 1.000 A.

Por último, para el cálculo de la interconexión se tendrá en cuenta también la intensidad máxima de cortocircuito que se puede presentar y la que admitirá el cable por densidad de corriente que viene dada por la Tabla 16 de la ITC BT 07 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión[1].



Para este caso, en función del número de ternas de cable tendidas en paralelo, se podrá calcular la intensidad máxima de cortocircuito que podría soportar la interconexión durante un tiempo determinado. Este cálculo, para un tiempo de 1 segundo, será el siguiente:

$ICC \text{ (máx 1s)} = 93 \times 240 \times 3 = 66,96 \text{ kA} \quad (30)$

Siendo superior a la calculada anteriormente, 13.75 kA para el trafo de 400 kVA.

5.2.8 Dimensionado ventilación

El edificio empleado en esta aplicación ha sido homologado por la compañía suministradora, según su manual [10], cumpliendo con las características generales especificadas su normativa para *“Edificios prefabricados de hormigón para Centros de Transformación de Superficie”*.

5.2.9 Dimensiones del pozo apagafuegos

Se dispone de un foso de recogida del líquido dieléctrico (aceite) de mínimo 600 litros de capacidad por cada transformador, para prevenir el vertido del mismo hacia el exterior. Es necesario incluir una malla cortafuegos debido a la temperatura de inflamación y de combustión del líquido dieléctrico.

Las medidas del foso del prefabricado serán: 2.000 x 1.300 x 300 mm:

$V = 2.000 \times 1.300 \times 300 \cdot 10^{-6} = 780 \text{ litros} \quad (31)$

5.2.10 Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra

Investigación de las características del suelo.

El Reglamento de Alta Tensión [3] indica que para instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA no será imprescindible realizar la citada investigación previa de la resistividad del suelo, bastando el examen visual del terreno y pudiéndose estimar su resistividad, siendo necesario medirla para corrientes superiores.

Se considera que el terreno dónde se instalará este centro de transformación tiene una resistividad media en 100 Ohm.m.

Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente a la eliminación del defecto.

En las instalaciones de media tensión de tercera categoría, los parámetros que determinan los cálculos de faltas a tierra son las siguientes:

- Tipo de neutro: El neutro de la red puede estar rígidamente unido a tierra, unido a tierra mediante resistencias o impedancias, o bien aislado. Para cada uno de los casos se



producirá una limitación de la corriente de defecto, en función de las longitudes de líneas o de los valores de las impedancias en cada caso.

- Tipo de protecciones: En el caso de producirse un defecto, éste se eliminará mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un dispositivo relé de intensidad, que puede actuar en un tiempo fijo (tiempo fijo), o según una curva de tipo inverso (tiempo dependiente). Adicionalmente pueden existir reenganches posteriores al primer disparo, que sólo influirán en el caso de producirse en un tiempo inferior a los 0,5 segundos.

En esta instalación se tiene el neutro unido a tierra, y en este caso la intensidad de defecto a tierra es inversamente proporcional a la impedancia del circuito que debe recorrer. Para el cálculo se aplica la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} \quad (32)$$

I_d Intensidad máxima de defecto a tierra [A]

U Tensión compuesta de servicio de la red [V]

R_n Resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red [ohmios]

R_t Resistencia de la puesta a tierra de protección del centro [ohmios]

X_n Reactancia de la puesta a tierra del neutro de la red [ohmios]

Los valores de R_n y X_n son característicos de cada red, y que para redes con neutro unido rígidamente a tierra se puede considerar: $R_n = 0 \text{ Ohm}$, $X_n = 25 \text{ Ohm}$.

Diseño preliminar de la instalación de tierra.

Para los cálculos a realizar se emplearán los procedimientos del Anexo 2 del "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para Centros de Transformación de 3ª categoría", editado por UNESA y el manual de la compañía para el diseño de puesta a tierra en los centros de transformación [25].

Características de la red de alimentación:

Tensión de servicio: $U_r = 20 \text{ kV}$

Puesta a tierra del neutro: conectado directamente a tierra

Intensidad de puesta a tierra $I_{dm} \leq 500 \text{ A}$ s/Manual técnico para la región Centro

Nivel de aislamiento de las instalaciones de baja tensión:

$V_{bt} = 10000 \text{ V}$ (según recomendación de UNESA)



Características del terreno:

Resistividad del terreno $R_o = 100 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$

Resistividad superficial (hormigón) $R'o = 3000 \text{ Ohm}$

La resistencia máxima de la puesta a tierra de protección del edificio, y la intensidad de defecto se obtiene con la expresión:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} \quad (33)$$

donde:

I_d intensidad de falta a tierra [A]

R_t resistencia total de puesta a tierra [Ohm]

V_{bt} tensión de aislamiento en baja tensión [V]

La intensidad del defecto se calcula de la siguiente forma:

$$I_d = I_{dm} \quad (34)$$

donde:

I_{dm} limitación de la intensidad de falta a tierra [A]

I_d intensidad de falta a tierra [A]

Operando en este caso, el resultado preliminar obtenido es:

$$\underline{I_d = 500 \text{ A}}$$

La resistencia total de puesta a tierra preliminar:

$$\underline{R_t = 20 \text{ Ohm}}$$

Se selecciona el electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas, y de aplicación en este caso concreto, según las condiciones del sistema de tierras) que cumple el requisito de tener una K_r más cercana inferior o igual a la calculada para este caso y para este centro.

Valor unitario de resistencia de puesta a tierra del electrodo:

$$K_r \leq \frac{R_t}{R_o} \quad (35)$$



donde:

R_t resistencia total de puesta a tierra [Ohm]

R_o resistividad del terreno en [Ohm·m]

K_r coeficiente del electrodo

- Centro de Transformación

Para este caso particular, y según los valores antes indicados:

$$\underline{K_r \leq 0,200}$$

La configuración adecuada para este caso tiene las siguientes propiedades:

Configuración seleccionada: 60-40/5/00

Geometría del sistema: Anillo rectangular sin picas

Profundidad del electrodo horizontal: 0,5 m

Parámetros característicos del electrodo:

De la resistencia $K_r = 0,1020$

De la tensión de paso $K_p = 0,0203$

De la tensión de contacto exterior $K_c = K_p(\text{acc}) = 0,0605$

Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto.

Para que no aparezcan tensiones de contacto exteriores ni interiores, se adoptarán las siguientes medidas de seguridad:

Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del edificio no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar a tensión debido a defectos o averías.

La envolvente prefabricada de hormigón dispondrá de una armadura metálica, que permitirá la interconexión entre sí y al colector de tierras. Esta unión se realizará mediante latiguillos de cobre, dando lugar a una superficie equipotencial que envolverá completamente al centro

El valor real de la resistencia de puesta a tierra del edificio será:

$$R'_t = K_r \cdot R_o \quad (36)$$

donde:

K_r coeficiente del electrodo



R_o resistividad del terreno en [Ohm·m]

$R't$ resistencia total de puesta a tierra [Ohm]

por lo que para el Centro de Transformación:

$R't = 10,20 \text{ Ohm}$

y la intensidad de defecto real, tal y como indica la fórmula:

$I'd = 320,74 \text{ A}$

Para el diseño de la instalación de puesta a tierra se tendrán en cuenta los valores de Tensiones de Contacto (V_c) y Paso (V_p) admisibles, para diversos valores de resistividad superficial del terreno (ρ_{eq}) y un tiempo de eliminación de 0,2 segundos recogidos en manual de la compañía: "Criterios de diseño de puesta a tierra de los centros de transformación". Tabla 2.- Valores de Tensiones de Contacto y Paso admisibles para un tiempo de eliminación del defecto de 0.2 segundos", la cual se incluye a continuación [25]:

$\rho_{eq}(\Omega m)$	5	10	50	100	200	300	500	800	1000	3000
$V_c \text{ (V)}$	362.7	365.4	387	414	468	522	630	792	900	1980
$V_p \text{ (V)}$	3708	3816	4680	5760	7920	10080	14400	20880	25200	68400

Tabla 18- Valores de Tensiones de Contacto y Paso admisibles para un tiempo de eliminación del defecto de 0.2 segundos [25].

Para $R_o = 100 \text{ Ohm·m}$ se tiene que $V_p = 5.760,00 \text{ V}$ y $V_c = 414,00 \text{ V}$.

Cálculo de las tensiones de paso en el interior de la instalación

Tomándose medidas de seguridad adicionales, como la construcción de una solera de hormigón de 10 cm sobre un mallazo metálico conectado a la puesta a tierra de protección, la utilización de pinturas aislantes en el interior del centro y la no conexión de las puertas de acceso del centro a la malla, se conseguirá que en el interior del centro de transformación aparezcan tensiones muy cercanas a ser nulas y por tanto se pueden despreciar.

Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de la instalación

Tensión de paso en el exterior y en el acceso:

$$V'_p = K_p \cdot R_o \cdot I'_d \quad V'_{p'_{acc}} = K_{p'_{acc}} \cdot R_o \cdot I'_d \quad (37)$$

donde:

K_p coeficiente



Ro resistividad del terreno en [Ohm·m]
I'd intensidad de defecto [A]
V'p tensión de paso en el exterior [V]

Por lo que, para este caso:

$$\underline{V'p = 651,10 \text{ V}}$$

$$\underline{V'p_{acc} = 1.940,48 \text{ V}}$$

Cálculo de las tensiones aplicadas

Los valores admisibles son para una duración total de la falta igual a:

t = 0,2 seg según manual compañía.
K = 72
n = 1

Tensión de paso en el exterior:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot R_o}{1000} \right) \quad (38)$$

donde:

K coeficiente
t tiempo total de duración de la falta [s]
n coeficiente
Ro resistividad del terreno en [Ohm·m]
Vp tensión admisible de paso en el exterior [V]
Por lo que, para este caso

$$\underline{Vp = 5.760,00 \text{ V} .}$$

La tensión de paso en el acceso al edificio:

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_o + 3 \cdot R'_o}{1000} \right) \quad (39)$$

donde:

K coeficiente
t tiempo total de duración de la falta [s]



n coeficiente
Ro resistividad del terreno en [Ohm·m]
R'o resistividad superficial del terreno en [Ohm·m] (de hormigón utilizando acera
 perimetral 1,5x0,1 mts)

Vp(acc) tensión admisible de paso en el acceso [V], por lo que para este caso:

$$Vp(acc) = 37.080,00 \text{ V}$$

Se comprobará ahora que los valores calculados para el caso de este Centro de Transformación son inferiores a los valores admisibles:

Tensión de paso en el exterior del centro:

V'p = 651,10 V < Vp = 5.760,00 V según UNESA y < Vp = 5.760,00 V (según manual compañía [25])

Tensión de paso en el acceso al centro:

La tensión de paso en el acceso será igual al valor de la tensión máxima de contacto siempre que se disponga de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra, según la fórmula

$$V'c = Kc \times Ro \times I'd \quad (40)$$

$V'p(acc) = V'c = 1.940,48 \text{ V} < Vp(acc) = 37.080,00 \text{ V}$ (UNESA con acera perimetral hormigón 1,5x0,1 mts) pero $> Vc = 414,00 \text{ V}$ (manual compañía sin acera perimetral distinta al terreno existente).

Al tener un valor de tensión de contacto superior al establecido en el manual de la compañía sin acera perimetral distinta al terreno, para evitar la aparición de tensiones de contacto superiores a las aplicadas admisibles, se implementa la situación según el cálculo UNESA con acera perimetral de hormigón 1,5x0,1 mts, adoptando las medidas de seguridad detalladas a continuación:

- Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del edificio del CT no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar a tensión debido a defectos o averías.
- En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm, conectado a la puesta a tierra del mismo.
- Alrededor del edificio habrá una acera perimetral de 1,5 m de ancho con un espesor de 10 cm y resistividad 3000 ohm*m
-

Tensión de defecto:

$$V'd = 3.271,55 \text{ V} < Vbt = 10000 \text{ V}$$

Intensidad de defecto:



$$I_a = 50 \text{ A} < I_d = 270,5 \text{ A} < I_{dm} = 500 \text{ A}$$

Siendo I_a la intensidad prevista para la actuación de las protecciones

Investigación de las tensiones transferibles al exterior:

Para garantizar que el sistema de tierras de protección no transfiera tensiones al sistema de tierra de servicio, evitando así que afecten a los usuarios, debe establecerse una separación entre los electrodos más próximos de ambos sistemas, siempre que la tensión de defecto supere los 1000V.

En este caso es imprescindible mantener esta separación, al ser la tensión de defecto superior a los 1000 V indicados.

La distancia mínima de separación entre los sistemas de tierras viene dada por la expresión:

$$D = \frac{R_o \cdot I'_d}{2000 \cdot \pi} \quad (41)$$

donde:

R_o resistividad del terreno en [Ohm·m]

I'_d intensidad de defecto [A]

D distancia mínima de separación [m]

Para este Centro de Transformación:

$$D = 4,85 \text{ m}$$

Se conectará a este sistema de tierras de servicio el neutro del transformador.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

Identificación: 5/32 (según método UNESA)

Geometría: Picas alineadas

Número de picas: tres

Distancia entre picas: 3 metros

Profundidad de las picas: 0,5 m

Los parámetros según esta configuración de tierras son:

$$K_r = 0,135$$

$$K_p = 0,0252$$

Con la configuración proyectada la resistencia de puesta a tierra de servicio será:

$$R_{tserv} = K_r \cdot R_o = 0,135 \cdot 100 = 13,50 \text{ Ohm} \quad (42)$$



Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio independientes se cumplirán las siguientes condiciones: la línea de puesta a tierra del neutro se realizará con cable de cobre aislado de 50 mm², tipo DN-RA 0.6/1 kV.

Corrección y ajuste del diseño inicial:

La justificación anterior, realizada para un electrodo tipo 60-40/5/00 según UNESA (*bucle de cobre desnudo de 50 mm² y dimensiones 6.0 x 4.0 m a 0.5 m de profundidad*), indica la idoneidad del mismo. Ahora bien, atendiendo a lo establecido en el apartado 6.8.4.1 *Ejecución de las Puestas a Tierra en los Centros de Transformación de Superficie Tipo EP-1* (Tabla 2 *Utilización de los electrodos, en función de la resistividad equivalente del terreno y de la intensidad de puesta a tierra*) del MT 2.11.01[10] en la que se detallan las tipologías de utilización de los electrodos, en función de la resistividad equivalente del terreno y de la intensidad de defecto a tierra, la cual se adjunta a continuación:

I_{pat} (A)								
Rango ρ_{eq} (ohm.m)	≤ 100	≤ 250	≤ 500	≤ 750	≤ 1000	Rd(ohm)		
Menor de 5	EP1-1BMP0					0.46		
Entre 5 y 10								
Entre 10 y 50								
Entre 50 y 100						EP1-1BMP0 + CH		EP1-1BMP8 + CH
Entre 100 y 200			EP1-1BMP8 + CH		18.36 / 13.41			
Entre 200 y 300	EP1-1BMP8 + CH						20.11	
Entre 300 y 500	EP1-2BMP6 + CH						29.37	
Entre 500 y 800	(1)							
Entre 800 y 1000								

Rd: Resistencia de difusión a tierra

CH: Capa de Hormigón seco ($\rho_s = 3000 \text{ ohm.m}$)

Tabla 19- Tipología de utilización de los electrodos en función de la resistividad equivalente del terreno y de la intensidad de defecto a tierra.

Se empleará, para la puesta a tierra de protección del centro de transformación, el electrodo EP1-1BMP0+CH, según la compañía suministradora [10], constituido por un bucle mediante



conductor de Cu desnudo de 50 mm² y dimensiones 6.0 x 5.0 m a 0.5 m de profundidad, realizándose una acera perimetral con una anchura de 1,50 m y un espesor de al menos 10 cm (*p.e. hormigón*) de resistividad superficial $\geq 3000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$.

Referente a la distancia de separación, se indica mediante una tabla que se incluye a continuación, que para resistividades entre 100 y 200 ohm.m e intensidades de defecto de puesta a tierra $\leq 500 \text{ A}$, deberá ser al menos de 21,6 metros.

Distancia de separación en metros

Ipat (A) Rango ρ_{eq} (ohm.m)	≤ 100	≤ 250	≤ 500	≤ 750	≤ 1000
Menor de 5	UNIDAS				
Entre 5 y 10					
Entre 10 y 50					
Entre 50 y 100		4.8	8.2	9.8	13.2
Entre 100 y 200	4.8	8.2	13.2	16.6	21.6
Entre 200 y 300	8.2	13.2	16.6		
Entre 300 y 500	13.2	16.6	21.6		
Entre 500 y 800					
Entre 800 y 1000					

Tabla 20– Distancia de separación entre puestas a tierra de protección y servicio.

Según UNESA se tiene una distancia de separación de 4,85 m, por lo que se adoptará la mayor de las dos distancias anteriores, es decir 21,6 metros, tal y como figura en el plano correspondiente.

En las zonas de cruce del cable de la línea de PaT de servicio con el electrodo de PaT de protección deberán estar separadas una distancia mínima de 40 cm

Según el proceso de justificación de los electrodos de puesta a tierra seleccionados anteriormente, no se considera necesaria la corrección del sistema proyectado.

No obstante, se podrá ejecutar cualquier configuración con características de protección mejores que las calculadas, es decir, atendiendo a las tablas del Método de Cálculo de Tierras de UNESA, con valores de "Kr" inferiores a los calculados, sin necesidad de repetir los cálculos, independientemente de que se cambie la profundidad de enterramiento, geometría de la red de tierra de protección, dimensiones, número de picas o longitud de éstas, ya que los valores de tensión serán inferiores a los calculados en este caso.

5.3 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA RED DE BAJA TENSIÓN

5.3.1 Introducción

Tal como se ha indicado en el apartado de la memoria descriptiva de la red subterránea de baja tensión, el cable elegido para las nuevas cinco líneas nos impone la compañía suministradora que sea el XZ1 3(1x240)+1x150 mm² Al, compuesto por conductor XZ1 de 240 mm² de sección para las tres fases y un conductor XZ1 de 150 mm² para el neutro. La razón es que, pese a que un cable con menos sección presumiblemente soportaría las mismas condiciones del suministro estudio de este Proyecto, en caso de futuras extensiones de la red las líneas dispondrían de carga suficiente para nuevos suministros a abonados, al soportar intensidades de corriente admisibles mayores y en consecuencia mayor potencia de carga en la línea.

En el presente apartado se va a justificar que el cable que nos impone la compañía suministradora soporta las condiciones de distribución a abonados que se ha propuesto en el apartado de memoria de la red de baja tensión, para en caso contrario modificar las condiciones.

Finalmente, indicar que se va a seguir, para el cálculo de la justificación del cable, las indicaciones de la compañía (Iberdrola) en su manual técnico [1], así como lo especificado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en su ITC-BT-07[1].

5.3.2 Justificación de la sección de los conductores

Para los nuevos elementos proyectados la distribución se realizará, mediante un esquema TT, en sistema trifásico a las tensiones de 400 V entre fases y 230 V entre fase y neutro [1].

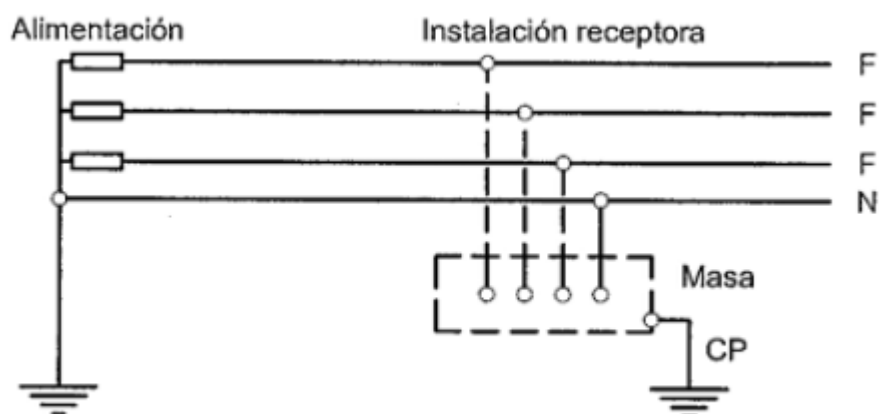


Figura 30– Distribución mediante esquema TT.



El esquema TT es el esquema más utilizado para redes de distribución pública de baja tensión, en el que se tiene un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria, siendo éste el punto neutro de la red (ITC-BT-08 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión)[1].

De acuerdo a lo indicado por el manual técnico de la compañía suministradora para la elección de un cable deben tenerse en cuenta, en general, cuatro factores principales, cuya importancia difiere en cada caso [11].

Dichos factores son:

- Tensión de la red y su régimen de explotación.
- Intensidad a transportar en determinadas condiciones de instalación.
- -Caídas de tensión en régimen de carga máxima prevista.
- -Intensidades y tiempo de cortocircuito.

Las características de los conductores en régimen permanente a título orientativo, serán las siguientes:

Resistencia y reactancia:

Sección de fase en mm ²	R - 20° en Ω/km	X en Ω/km
240	0,125	0,070

Tabla 21– Valores resistencia y reactancia para la sección de 240 mm².

Intensidades máximas admisibles teóricas:

Sección de fase en mm ²	Directamente soterrados	En tubular soterrada	Al aire protegido del sol
240	340	305	390

Tabla 22– Intensidades máximas admisibles.

Estos valores de intensidad están fijados con las siguientes hipótesis:

- Aislamiento XLPE (polietileno reticulado) 0,6/1 kV.
- Cables en triángulo en contacto.
- Temperatura del terreno: 25°C.
- Temperatura del aire ambiente: 40°C.
- Resistencia térmica del terreno: 1,5 K.m/W.
- Profundidad de soterramiento: 0,7 m.

A estos valores orientativos se deberán aplicar los coeficientes de reducción, según lo especificado en la ITC-BT-07 del Reglamento electrotécnico para baja tensión[1]. Con respecto a las hipótesis fijadas anteriormente, estas condiciones de trabajo se pueden asumir como válidas, con lo cual no se tendría que aplicar ningún coeficiente de reducción o mayoración exceptuando lo indicada en el Reglamento para agrupación de cables en tubos soterrados en función del número de circuitos soterrados. Tal como se ha explicado en la memoria, en un tramo de la nueva canalización van a circular simultáneamente, pero en distintos tubos, tres líneas, siendo este el caso más desfavorable. Se estudiará la intensidad máxima admisible real, para este caso, comprobando si en esta situación las líneas podrían soportar la demanda de potencia asignada; si soportara la carga asignada en esta situación se considera que en los restantes casos también estaría justificada la potencia asignada y por lo tanto la sección de cable sería la correcta.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [1] especifica, tal como se ha indicado, la siguiente tabla de coeficientes en función del número de circuitos agrupados:

Circuitos en tubulares soterradas Tubos dispuestos en un plano horizontal					
Circuitos agrupados	Distancias entre tubos en mm				
	Contacto	200	400	600	800
2	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97
3	0,77	0,82	0,87	0,90	0,93
4	0,71	0,77	0,84	0,88	0,91
5	0,67	0,74	0,81	0,86	0,89
6	0,64	0,71	0,79	0,85	0,88
7	0,61	0,69	0,78	0,84	–
8	0,59	0,67	0,77	0,83	–
9	0,57	0,66	0,76	0,82	–
10	0,56	0,65	0,75	–	–




Tabla 23– Coeficiente de reducción de intensidad admisible en función de circuitos agrupados.

De esta manera, al valor de 305 A como dato de Intensidad máxima admisible teórico para una sección de cable de 240 mm² de Aluminio en condiciones de tubular soterrada habría que aplicar un coeficiente de 0,82 (3 circuitos con una distancia de 200 mm). Por lo tanto:

$$I_{\text{máx. admisible corregida}} = 305 \cdot 0,82 = 250,1 \text{ A} \quad (43)$$



Se asimilará un valor de 250 A, ya que ese es el primer fusible normalizado por la compañía que podría proteger la línea de sobreintensidades, tal como se justificará a continuación.

Para justificar la sección de los conductores, el manual de la compañía, nos indica que se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones [11]:

- a) Intensidad máxima admisible por el cable
- b) Caída de tensión

La elección de la sección del cable a adoptar está supeditada a la capacidad máxima del cable y a la caída de tensión admisible, que no deberá exceder del 5%.

a) **Intensidad máxima admisible por el cable:** La elección de la sección en función de la intensidad máxima admisible, se calculará partiendo de la potencia que ha de transportar el cable, calculando la intensidad correspondiente y eligiendo el cable adecuado, de acuerdo con los valores de las intensidades máximas ya determinados anteriormente.

La intensidad se determinará por la fórmula:

$$I_{\text{máx. admisible}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (44)$$

donde:

P = Potencia demandada (KW).

U = Tensión de la red (KV).

/ = Intensidad de corriente (A).

Cos ϕ = factor de potencia (0,9).

A continuación se calculará el valor de intensidad máxima a la que se llegaría en las condiciones de trabajo descritas, al que se llamará Intensidad máxima experimental, comprobándose que es inferior al valor de Intensidad máxima admisible teórica y corregida, calculada anteriormente. Se calculará para el caso más desfavorable (la línea que va a requerir proporcionar un mayor suministro de potencia en el caso de las tres líneas que coexisten en la misma canalización). En la tabla adjunta se calculará para todas las líneas.

$$I_{\text{máx. experimental}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{134,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,9} = 215,70 \text{ A} \quad (45)$$

Como se puede comprobar la intensidad máxima experimental en el caso más desfavorable es inferior a intensidad máxima admisible, siendo válida la sección de cable elegida.



$$I_{\text{máx. experimental}} < I_{\text{máx. admisible. teórica corregida}} \quad (46)$$

También, a modo orientativo, se determinará la potencia máxima que es capaz de transportar cada línea, dato a tener en cuenta por la compañía para futuros suministros mediante las líneas ya existentes o a través de las nuevas que pudieran salir desde el nuevo centro de transformación. Para su cálculo el valor de intensidad será el máximo permitido ($I_{\text{máx. admisible. teórica corregida}}$), calculado anteriormente.

$$P = I_{\text{máx. admisible teórica}} \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi = 250 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9 = 155,88 \text{ KW} \quad (47)$$

A la vista de este resultado se puede comprobar que esta línea todavía tendría más capacidad de carga para suministro de potencia a más abonados. Pese a ello, habría que tener en cuenta otras consideraciones como la caída de tensión y longitud de protección que proporcionan los fusibles instalados en las salidas del cuadro de baja tensión a las nuevas líneas de baja tensión.

b) **Caída de tensión:** La determinación de la sección en función de la caída de tensión se realizará mediante la fórmula:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{máx. experimental}} \cdot L \cdot (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) \quad (48)$$

Donde:

U = Tensión de la red (KV).

I máx experimental = Intensidad de corriente (A).

L= longitud de la línea (Km)

R=Resistencia del conductor (Ω/Km)

L=Reactancia a frecuencia de 50 Hz (Ω/Km)

Cos ϕ =factor de potencia (0,9).

De nuevo se determinará su valor para el caso más desfavorable (el de mayor longitud), que se corresponde con la línea que da servicio a la caja más alejada de la salida del cuadro de baja tensión del centro de transformación. En la tabla que se adjunta al final de este apartado se indican los resultados obtenidos para las 5 líneas.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{máx experimental}} \cdot L \cdot (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) = \sqrt{3} \cdot 215,70 \cdot 0,178 \cdot (0,125 \cdot 0,9 + 0,070 \cdot 0,435) = 9,51 \text{ V} \quad (49)$$



En término porcentual se calcularía como:

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{9,51}{400} \cdot 100 = 2,38 \% \quad (50)$$

Este valor, como se puede comprobar, está por debajo del 5% considerado como admisible por la compañía, reincidiendo tal como se ha indicado en el apartado de intensidad máxima admisible, en la correcta elección de la sección de cable.

5.3.3 Protección de sobreintensidad

Tal como se ha concluido, en el anterior apartado de cálculos, se necesitará colocar en las salidas de las nuevas líneas de baja tensión del cuadro de baja tensión del centro de transformación fusibles que protejan contra sobreintensidades superiores a 250 A. Con carácter general, los conductores estarán protegidos por los fusibles existentes contra sobrecargas y cortocircuitos.

Tal como marca la compañía en su manual técnico [11], para la adecuada protección de los cables contra sobrecargas, mediante fusibles de la clase gG, se indican en los siguientes cuadros, la intensidad nominal del mismo:

Cable 0,6/1 kV	Cartuchos fusibles "gG" (Sobrecargas) $I_f = 1,6 I_n < 1,45 I_z$		
	$I_n \leq 0,91 I_z (A)$		
	Directamente soterrados	En tubular soterrada	Al aire protegido del sol
4 x 50 Al	100	100	100
3 x 95 + 1 x 50 Al	160	125	160
3 x 150 + 1 x 95 Al	200	200	250
3 x 240 + 1 x 150 Al	250	250	315

Tabla 24– Fusibles normalizados en función de la sección de conductor.

Donde:

I_f = corriente convencional de fusión del fusible.

I_n = corriente asignada de un cartucho fusible.

I_z = corriente admisible para los conductores cargados s/UNE 20 460-5-523.

Por tanto, tal como se señalaba, el fusible elegido es el de 250 A



Figura 31– Fusible normalizado 250 A.

Tal como se ha apuntaba, se prevé la protección del conductor por fusibles contra sobrecargas y cortocircuitos, debiendo tenerse en cuenta la longitud de la línea que realmente se protege y que se indica en el siguiente cuadro expresado en metros (por indicaciones de la compañía):

Longitud máxima del cable protegida en metros contra cortocircuitos y sobrecargas para tubulares soterradas						
Icc I máxima	580	715	950	1250	1650	2200
<i>Fusibles “gG” Calibre In (A)</i>	100	125	160	200	250	315
4 x 50 Al	192	156	117	89	67	51
3 x 95 + 1 x 50 Al	255	207	156	118	90	67
3 x 150 +1 x 95 Al	458	371	280	212	161	121
3 x 240 +1 x 150 Al	702	570	429	326	247	185

Tabla 25– Longitud máxima de cable protegida contra cortocircuitos sobrecargas.

* Longitudes en metros.

* Los cálculos han sido efectuado con una impedancia a 145°C del conductor de fase y neutro. Icc (I máxima) 5 segundos (A).



Con la tabla, se prevé que para el fusible de 250 A la línea estaría protegida frente a sobrecargas y cortocircuitos hasta una distancia de 247 m, valor muy superior a los 178 m, distancia para la caja general de protección más alejada del centro de transformación.

Los cálculos para todas las líneas serían:



Descripción	Pot. prevista (KW)	Intensidad (A)	Sección conductor de fase (mm ²)	Tipo de conductor	I admisible cable instalación tubular soterrada (A)	Coeficiente corrección I admisible por tipo de instalación	I admisible cable (A)	Long. (m)	c.d.t (%)	Fusible (A)	Longitud protegida por el fusible (m)
L-01	134,5	215,7	240	XZ1 0,6/1kV Al	305	0,90	274,5	106	1,41	250	247
L-02	134,5	215,7	240	XZ1 0,6/1kV Al	305	0,82	250,1	77	1,03	250	247
L-03	134,5	215,7	240	XZ1 0,6/1kV Al	305	0,90	274,5	178	2,38	250	247
L-04	134,5	215,7	240	XZ1 0,6/1kV Al	305	0,82	250,1	120	1,60	250	247
L-05	15	24,1	240	XZ1 0,6/1kV Al	305	0,82	250,1	150	0,22	250	247

Tabla 26– Cálculos de protección para las nuevas líneas de baja tensión



Se puede comprobar a la vista de la tabla de cálculos adjunta que todas las líneas estarán protegidas, tal como se ha ido señalando en todo el apartado, contra sobreintensidades y cortocircuitos. Además se ha demostrado que la caída de tensión para todas las líneas está por debajo del 5% admisible. En conclusión, la sección de cable utilizada para el tendido de las nuevas líneas de baja tensión va a soportar las condiciones descritas a las que se le va a someter.



6 ESTUDIO BASICO DE SEGURIDAD Y SALUD

6.1 OBJETO

El objeto de este estudio es dar cumplimiento al Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, identificando, analizando y estudiando los posibles riesgos laborales que puedan ser evitados, identificando las medidas técnicas necesarias para ello; relación de los riesgos que no pueden eliminarse, especificando las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos.

El Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre, establece en el apartado 2 del Artículo 4 que en los proyectos de obra no incluidos en los supuestos previstos en el apartado 1 del mismo Artículo, el promotor estará obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un Estudio Básico de Seguridad y Salud.

Los supuestos previstos son los siguientes:

- El presupuesto de Ejecución por Contrata es superior a 75 millones de pesetas (42.047,49 €).
- La duración estimada de la obra es superior a 30 días o se emplea a más de 20 trabajadores simultáneamente.
- El volumen de mano de obra estimada es superior a 500 trabajadores/día
- Es una obra de túneles, galerías, conducciones subterráneas o presas.

Al no darse ninguno de los supuestos previstos en el apartado 1 del Artículo 4 del R.D. 1627/1997 se redacta el presente Estudio Básico de Seguridad y Salud.

Asimismo es objeto de este Estudio Básico de Seguridad y Salud dar cumplimiento a la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de prevención de Riesgos Laborales en lo referente a la obligación del empresario titular de un centro de trabajo de informar y dar instrucciones adecuadas, en relación con los riesgos existentes en el centro de trabajo y las medidas de protección y prevención correspondientes.

En base a este Estudio Básico de Seguridad y al artículo 7 del R.D. 1627/1997, cada contratista elaborará un Plan de Seguridad y Salud en función de su propio sistema de ejecución de la obra y en el que se tendrán en cuenta las circunstancias particulares de los trabajos objeto del contrato.

Para la redacción del presente estudio se ha utilizado el Manual de técnico responsable de obra y técnico de ejecución [27].



6.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA OBRA

En este punto se analizan las diferentes servidumbres o servicios que se deberán tener perfectamente definidos y solucionados antes del comienzo de las obras.

Descripción de la obra y situación.

La situación de la obra a realizar y el tipo de la misma se recogen en el documento de Memoria del presente proyecto.

Suministro de energía eléctrica.

El suministro de energía eléctrica provisional de obra será facilitado por la empresa constructora, proporcionando los puntos de enganche necesarios en el lugar del emplazamiento de la obra.

Suministro de agua potable.

El suministro de agua potable será a través de las conducciones habituales de suministro en la región, zona, etc. En el caso de que esto no sea posible, dispondrán de los medios necesarios que garanticen su existencia regular desde el principio de la obra.

Vertido de aguas sucias de los servicios higiénicos.

Se dispondrá de servicios higiénicos suficientes y reglamentarios.

Si fuera posible, las aguas fecales se conectarán a la red de alcantarillado, en caso contrario, se dispondrá de medios que faciliten su evacuación o traslado a lugares específicos destinados para ello, de modo que no se agrede al medio ambiente.

Servidumbre y condicionantes.

No se prevén interferencias en los trabajos, puesto que si la obra civil y el montaje pueden ejecutarse por empresas diferentes, no existe coincidencia en el tiempo.

No obstante, de acuerdo con el artículo 3 de R.D. 1627/1997, si interviene más de una empresa en la ejecución del proyecto, o una empresa y trabajadores autónomos, o más de un trabajador autónomo, el Promotor deberá designar un Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra.

Esta designación debería ser objeto de un contrato expreso.



6.3 RIESGOS LABORABLES EVITABLES COMPLETAMENTE

La siguiente relación de riesgos laborales que se presentan, son considerados totalmente evitables mediante la adopción de las medidas técnicas que precisen:

- Derivados de la rotura de instalaciones existentes: Neutralización de las instalaciones existentes.
- Presencia de líneas eléctricas de alta tensión aéreas o subterráneas: Corte del fluido, apantallamiento de protección, puesta a tierra y cortocircuito de los cables.

6.4 RIESGOS LABORABLES NO ELIMINABLES COMPLETAMENTE

Este apartado contiene la identificación de los riesgos laborales que no pueden ser completamente eliminados, y las medidas preventivas y protecciones técnicas que deberán adoptarse para el control y la reducción de este tipo de riesgos.

La primera relación se refiere a aspectos generales que afectan a la totalidad de la obra, y las restantes, a los aspectos específicos de cada una de las fases en las que ésta puede dividirse.

Toda la obra:

a) Riesgos más frecuentes:

- Caídas de operarios al mismo nivel
- Caídas de operarios a distinto nivel
- Caídas de objetos sobre operarios
- Caídas de objetos sobre terceros
- Choques o golpes contra objetos
- Fuertes vientos
- Trabajos en condición de humedad
- Contactos eléctricos directos e indirectos
- Cuerpos extraños en los ojos
- Sobreesfuerzos

b) Medidas preventivas y protecciones colectivas:

- Orden y limpieza de las vías de circulación de la obra



- Orden y limpieza de los lugares de trabajo
- Recubrimiento, o distancia de seguridad (1m) a líneas eléctricas de B.T.
- Recubrimiento, o distancia de seguridad (3 - 5 m) a líneas eléctricas de A.T.
- Iluminación adecuada y suficiente (alumbrado de obra)
- No permanecer en el radio de acción de las máquinas
- Puesta a tierra en cuadros, masas y máquinas sin doble aislamiento
- Señalización de la obra (señales y carteles)
- Cintas de señalización y balizamiento a 10 m de distancia
- Vallado del perímetro completo de la obra, resistente y de altura 2m
- Marquesinas rígidas sobre accesos a la obra
- Pantalla inclinada rígida sobre aceras, vías de circulación o colindantes
- Extintor de polvo seco, de eficacia 21^a - 113B
- Evacuación de escombros
- Escaleras auxiliares
- Información específica
- Grúa parada y en posición veleta

c) Equipos de protección individual:

- Cascos de seguridad
- Calzado protector
- Ropa de trabajo
- Casquetes antirruídos
- Gafas de seguridad
- Cinturones de protección

Movimientos de tierras:

a) Riesgos más frecuentes:

- Desplomes, hundimientos y desprendimientos del terreno
- Caídas de materiales transportados



- Caídas de operarios al vacío
- Atrapamientos y aplastamientos
- Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de máquinas
- Ruidos, Vibraciones
- Interferencia con instalaciones enterradas
- Electrocutaciones

b) Medidas preventivas y protecciones colectivas:

- Observación y vigilancia del terreno.
- Limpieza de bolos y viseras
- Achique de aguas
- Pasos o pasarelas
- Separación de tránsito de vehículos y operarios
- No acopiar junto al borde de la excavación
- No permanecer bajo el frente de excavación
- Barandillas en bordes de excavación (0,9 m)
- Acotar las zonas de acción de las máquinas
- Topes de retroceso para vertido y carga de vehículos

Montaje y puesta en tensión:

Descarga y montaje del centro de transformación.

a) Riesgos más frecuentes:

- Vuelco de la grúa.
- Atrapamientos contra objetos, elementos auxiliares o la propia carga.
- Precipitación de la carga.
- Proyección de partículas.
- Caídas de objetos.
- Contacto eléctrico.
- Sobreesfuerzos.



- Quemaduras o ruidos de la maquinaria.
- Choques o golpes.
- Viento excesivo.

b) Medidas preventivas y protecciones colectivas:

- Trayectoria de la carga señalizada y libre de obstáculos.
- Correcta disposición de los apoyos de la grúa.
- Revisión de los elementos elevadores de cargas y de sus sistemas de seguridad.
- Correcta distribución de cargas.
- Prohibición de circulación bajo cargas en suspensión.
- Trabajo dentro de los límites máximos de los elementos elevadores.
- Apantallamiento de líneas eléctricas de A.T.
- Operaciones dirigidas por el jefe de equipo.
- Flecha recogida en posición de marcha.

Puesta en tensión.

a) Riesgos más frecuentes:

- Contacto eléctrico directo e indirecto en A.T. y B.T.
- Arco eléctrico en A.T. y B.T.
- Elementos candentes y quemaduras.

b) Medidas preventivas y protecciones colectivas:

- Coordinar con la empresa suministradora, definiendo las maniobras eléctricas a realizar.
- Apantallar los elementos de tensión.
- Enclavar los aparatos de maniobra.
- Informar de la situación en la que se encuentra la zona de trabajo y ubicación de los puntos en tensión más cercanos.
- Abrir con corte visible las posibles fuentes de tensión.

c) Protecciones individuales:

- Calzado de seguridad aislante.



- Herramientas de gran poder aislante.
- Guantes eléctricamente aislantes.
- Pantalla que proteja la zona facial.

6.5 TRABAJOS LABORABLES ESPECIALES

En la siguiente relación no exhaustiva se tienen aquellos trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y la salud de los trabajadores, estando incluidos en el Anexo II del R.D. 1627/97.

- Graves caídas de altura, sepultamientos y hundimientos.
- En proximidad de líneas eléctricas de alta tensión, se debe señalizar y respetar la distancia de seguridad (5 m) y llevar el calzado de seguridad.
- Exposición a riesgo de ahogamiento por inmersión.
- Uso de explosivos.
- Montaje y desmontaje de elementos prefabricados pesados.

6.6 INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA

La obra dispondrá de los servicios higiénicos que se indican en el R.D. 1627/97 tales como vestuarios con asientos y taquillas individuales provistas de llave, lavabos con agua fría, caliente y espejo, duchas y retretes, teniendo en cuenta la utilización de los servicios higiénicos de forma no simultánea en caso de haber operarios de distintos sexos.

De acuerdo con el apartado A 3 del Anexo VI del R.D. 486/97, la obra dispondrá de un botiquín portátil debidamente señalizado y de fácil acceso, con los medios necesarios para los primeros auxilios en caso de accidente y estará a cargo de él una persona capacitada designada por la empresa constructora.

La dirección de la obra acreditará la adecuada formación del personal de la obra en materia de prevención y primeros auxilios.

Existirá también un plan de emergencia para atención del personal en caso de accidente y la contratación de los servicios asistenciales adecuados (Asistencia primaria y asistencia especializada)



6.7 PREVISIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES

El apartado 3 del artículo 6 del R.D. 1627/1997, establece que en el Estudio Básico se contemplarán también las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los previsibles trabajos posteriores.

En el Proyecto de Ejecución se han especificado una serie de elementos que han sido previstos para facilitar las futuras labores de mantenimiento y reparación del edificio en condiciones de seguridad y salud, y que una vez colocados, también servirán para la seguridad durante el desarrollo de las obras. Los elementos que se detallan a continuación son los previstos a tal fin:

- Ganchos de servicio.
- Elementos de acceso a cubierta (puertas, trampillas)
- Barandilla en cubiertas planas.
- Grúas desplazables para limpieza de fachada.
- Ganchos de ménsula (pescantes)
- Pasarelas de limpieza.

6.8 NORMAS DE SEGURIDAD APLICABLES EN LA OBRA

Las normas de seguridad aplicables en la obra.

- Ley 31/ 1.995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 485/1.997 de 14 de abril, sobre Señalización de seguridad en el trabajo.
- Real Decreto 486/1.997 de 14 de abril, sobre Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1.997 de 14 de abril, sobre Manipulación de cargas.
- RD 773/1.997 de 30 de mayo, sobre Utilización de Equipos de Protección Individual.
- Real Decreto 39/1.997 de 17 de enero, Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1215/1.997 de 18 de julio, sobre Utilización de Equipos de Trabajo.
- Real Decreto 1627/1.997 de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Estatuto de los Trabajadores (Ley 8/1.980, Ley 32/1.984, Ley 11/1.994).



7 PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1.- OBRA CIVIL AUXILIAR

1.01	Ud. Apertura y tapado de cala de dimensiones aproximadas long. 4,0 m x anch. 1,0 m x prof. 1,0 m para localización de línea subterránea de MT existente y realización de conexiones, incluyendo demolición y levantamiento de pavimento y firme hasta 15 cm de espesor, excavación, relleno, reposición de pavimento y retirada de sobrantes a vertedero, totalmente terminada.	1,0 Ud	515,82	515,82
1.02	m. Canalización MT entubada 0,35 x 0,90 m en acera , con 4T Ø 160 mm y multiducto MTT en asiento de arena , incluyendo demolición y levantamiento de pavimento y firme hasta 15 cm de espesor, excavación, suministro y colocación de tubos, cinta señalizadora, relleno, reposición de pavimento con loseta hidráulica y retirada de sobrantes a vertedero, totalmente terminada.	6,0 m	61,57	369,42
1.03	m. Canalización MT entubada 0,35 x 1,00 m en calzada , con 4T Ø 160 mm y multiducto MTT en asiento de hormigón, incluyendo demolición y levantamiento de pavimento y firme hasta 15 cm de espesor, excavación, suministro y colocación de tubos, cinta señalizadora, relleno, reposición de pavimento con asfalto y retirada de sobrantes a vertedero, totalmente terminada.	7,0 m	103,73	726,11
1.04	m. Canalización BT entubada 0,35 x 0,97 m en acera, con 4T Ø 160 mm en asiento de arena, incluyendo demolición y levantamiento de pavimento y firme hasta 15 cm de espesor, excavación, suministro y colocación de tubos, cinta señalizadora, relleno, reposición de pavimento con loseta hidráulica y retirada de sobrantes a vertedero, totalmente terminada.	171,0 m	49,75	8.507,25



Instalación de nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado de compañía de 400 kVA y red subterránea de baja tensión para urbanización de 40 viviendas

1.05	m. Canalización BT entubada 0,50 x 0,97 m en acera, con 6T Ø 160 mm en asiento de arena, incluyendo demolición y levantamiento de pavimento y firme hasta 15 cm de espesor, excavación, suministro y colocación de tubos, cinta señalizadora, relleno, reposición de pavimento con loseta hidráulica y retirada de sobrantes a vertedero, totalmente terminada.	141,0 m	65,13	9.183,33
------	---	---------	-------	----------

TOTAL CAPÍTULO 1.- OBRA CIVIL AUXILIAR

19.301,93

CAPÍTULO 2.- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE M.T.

2.01	m. Suministro y tendido de línea de MT, formada por cable tipo HEPRZ1 12/20 kV 3(1x240) mm² Al, sin incluir canalización.	46,0 m	17,89	822,94
2.02	Ud. Suministro y ejecución de juego de 3 botellas terminales 24kV 630A, para cable seco 12/20kV Al de 1x240 mm² para conexión de línea a celda de entrada/salida.	2,0 Ud	279,72	559,44
2.04	Ud. Suministro e instalación de juego de tres empalmes unipolares 24kV, para cable seco 12/20kV Al de 1x240 mm² para conexión con red de distribución de MT existente:	2,0 Ud	278,64	557,28

TOTAL CAPÍTULO 2.- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE M.T.

1.939,66

CAPÍTULO 3.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

3.01	Ud. Suministro e instalación de centro de transformación de compañía formado por: un conjunto compacto 2L1P (24kV 400A) con dos celdas de línea y una celda de protección mediante ruptofusible según normas Iberdrola, un cuadro de BT de 8 salidas equipado con bases portafusibles tipo NH2 y fusibles hasta 250A, interconexión MT, un transformador de potencia 400kVA 20kV/B2, interconexión BT, instalaciones interiores de alumbrado normal y seguridad, instalaciones interiores de puesta a tierra de protección y servicio, elementos de maniobra y seguridad, todo ello completamente instalado y conexionado.	1,0 Ud	12.221,83	12.221,8
------	--	--------	-----------	----------



Instalación de nueva red subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado de compañía de 400 kVA y red subterránea de baja tensión para urbanización de 40 viviendas

3.04	Ud. Instalación exterior de puesta a tierra de protección para el centro de transformación, formada por electrodo lineal con picas de 2 m interconectadas mediante cable de cobre desnudo de 50 mm ² según MT 2.11.03, todo ello debidamente montado y conexionado.	1,0 Ud	183,22	183,22
3.05	Ud. Instalación exterior de puesta a tierra de servicio para el centro de transformación, formada por electrodo lineal con picas de 2 m interconectadas mediante cable de cobre desnudo/aislado de 50 mm ² según MT 2.11.03, todo ello debidamente montado y conexionado.	1,0 Ud	218,33	218,33
TOTAL CAPÍTULO 3.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN				12.623,38
CAPÍTULO 4.- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE B.T.				
4.01	m. Suministro y tendido de 8 RSBT, formada por cable tipo XZ1 0,6/1KV 3(1x240)+1x150 mm ² Al,	631,0 m	9,63	6.076,53
4.02	Ud. Embornado de Baja Tensión en Caja General de Protección (CGP) y/o Cuadro de BT (CBT) del Centro de Transformación sin P.a.T. de apoyo a neutro.	16,0 Ud	52,85	845,57
4.03	Ud. Puesta a tierra de apoyo a neutro, realizada con conductor de cobre aislado 0,6/1kv 1x50 mm ² , incluyendo suministro e instalación de electrodo de pica de acero cobrizado y pequeño material auxiliar, todo ello completamente instalado.	9,0 Ud	33,55	301,95
4.04	Ud. Rotulación de CBT y/o CGP	9,0 Ud	8,90	80,14
TOTAL CAPÍTULO 4.- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE B.T.				7.304,19
CAPÍTULO 5.- VARIOS				
5.01	Ud. Verificación de las nuevas líneas subterráneas de MT y BT, s/MT 2.33.15 "Red subterránea de AT y BT. Comprobación de cables subterráneos", incluyendo emisión de informe para su tramitación ante IB y la DGIEM.	1,0 Ud	450,72	450,72
5.02	Ud. Medición de puestas a tierras de protección y servicio y tensiones de paso (Vp) y contacto (Vc), i/emisión de informe para su tramitación ante la compañía distribuidora de energía eléctrica y la DGIEM.	1,0 Ud	246,24	246,24
5.03	Ud. Realización de cartografía en formato Microstation y fichas SIGRID de las nuevas redes de MT, BT y CT, i/tramitación ante la compañía distribuidora de energía eléctrica.	1,0 Ud	181,44	181,44
TOTAL CAPÍTULO 5.- VARIOS				878,40



RESUMEN DE PRESUPUESTO

TOTAL CAPÍTULO 1.- OBRA CIVIL AUXILIAR	19.301,93
--	-----------

TOTAL CAPÍTULO 2.- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE M.T.	1.939,66
--	----------

TOTAL CAPÍTULO 3.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	12.623,31
---	-----------

TOTAL CAPÍTULO 4.- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE B.T.	7.304,19
--	----------

TOTAL CAPÍTULO 5.- VARIOS	878,40
---------------------------	--------

TOTAL OBRA	42.047,49€
-------------------	-------------------

El total del **presupuesto** para la LSMT, NUEVO CT 1x400 KVA Y RSBT EN C/CEMENTERIO, EN MAJADAHONDA, asciende a **cuarenta y dos mil cuarenta y siete con cuarenta y nueve céntimos**.



8 CONCLUSIONES

El objeto del presente proyecto era definir la red formada por la nueva línea subterránea de media tensión, centro de transformación prefabricado y nuevas líneas de baja tensión para dar abastecimiento eléctrico a una nueva urbanización. Para ello, además de describir los distintos elementos que componen la instalación también se realizaron los cálculos pertinentes para justificar las distintas soluciones tomadas.

El objetivo planteado inicialmente se ha cumplido, pudiendo realizar un estudio completo y detallado de la red completa, con las distintas normativas referentes a los estamentos reguladores, incluyendo la compañía distribuidora, de manera que se ha conseguido justificar la viabilidad del proyecto planteado.



9 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*. Aprobado por el Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto de 2002 y actualizado según Real Decreto 560/2010.
- [2] *Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación*. Aprobado por Real Decreto 3.275/1982, de noviembre, B.O.E. 1-12-82.
- [3] *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión*. Aprobado por Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo 2014.
- [4] *Configuración de los centros de transformación*. CEO (Centro de Enseñanza Online) de McGraw-Hill Interamericana de España, S.L.
- [5] *Instrucciones generales de PFU-Centros de Transformación Prefabricado de Superficie*. ORMAZABAL.
- [6] *Manual Transformadores de distribución*. ORMAZABAL.
- [7] *Manual CGMCOSMOS-Sistema modular y compacto (RMU) con aislamiento integral en gas*. ORMAZABAL.
- [8] *Manual Cuadros de distribución para Centros de Transformación*. PRONUTEC.
- [9] *Manual Técnico MT 2.31.01 Edición 06 Julio 2009 - Proyecto Tipo de Línea Subterránea de AT hasta 30 kV*. Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [10] *Manual Técnico MT 2.11.01 Edición 06 Julio 2009 - Proyecto Tipo para Centro de Transformación de Superficie*. Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [11] *Manual Técnico MT 2.51.01 Edición 06 Julio 2009 - Proyecto Tipo de Línea Subterránea de Baja Tensión*. Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [12] *Norma Iberdrola NI 56.43.01 Edición 06 Julio 2009 - Cables unipolares con aislamiento seco de etileno propileno de alto módulo y cubierta de poliolefina (HEPRZ1) para redes de AT hasta 30 kV*. Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [13] *Norma Iberdrola NI 52.95.20 Edición 06 Julio 2009 - Tubos de plástico y accesorios (exentos de halógenos) para canalizaciones de redes subterráneas de telecomunicaciones*. Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [14] *Norma Iberdrola NI 56.80.03 Edición 06 Julio 2009 - Empalmes y terminales para cables subterráneos de AT hasta 18/30 (36) kV, con conductores de aluminio y aislamiento de papel impregnado..* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [15] *Norma Iberdrola NI 56.80.02 Edición 06 Julio 2009 - Accesorios para cables subterráneos de tensiones asignadas de 12/20 (24) kV hasta 18/30 (36) kV. Cables con aislamiento seco.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.



- [16] *Norma Iberdrola NI 50.42.11 Edición 06 Julio 2009 - Celdas de alta tensión bajo envolvente metálica hasta 36 kV, prefabricadas, con dieléctrico de SF₆, para CT.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [17] *Norma Iberdrola NI 56.86.01 Edición 06 Julio 2009 - Conectores terminales bimetálicos para cables aislados de AT aluminio por punzonado profundo (hasta 66 kV).* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [18] *Norma Iberdrola NI 50.44.03 Edición 06 Julio 2009 - Cuadro de distribución en BT con embarrado aislado y seccionamiento para centros de transformación de interior.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [19] *Manual técnico MT 2.11.30 Edición 06 Julio 2009 - Criterios de diseño de puesta a tierra de los centros de transformación.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [20] *Norma Iberdrola NI 56.43.01 Edición 06 Julio 2009 - Cables unipolares XZ1-AI con conductores de aluminio para redes subterráneas de baja tensión 0,6/1 kV.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [21] *Norma Iberdrola NI 56.43.01 Edición 06 Julio 2009 - Tubos de plástico corrugados y accesorios (exentos de halógenos) para canalizaciones de redes subterráneas de distribución.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [22] *Norma Iberdrola NI 50.20.02 Edición 06 Julio 2009 - Marcos y tapas para arquetas en canalizaciones subterráneas.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [23] *Norma Iberdrola NI 76.50.01 Edición 06 Julio 2009 - Cajas generales de protección (CGP).* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [24] *Norma Iberdrola NI 42.72.00 Edición 06 Julio 2009 - Instalaciones de enlace. Cajas de protección y medida.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [25] *Manual técnico MT 2.11.30 Edición 06 Julio 2009 - Realización e interpretación de mediciones de puestas a tierra de los apoyos de líneas aéreas y de los centros de transformación.* Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A.U.
- [26] *Manual de Responsables de Obra y Técnicos de ejecución.* Editorial Lex Nova.
- [27] *Anexo 2 del Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para Centros de Transformación conectados a redes de tercera categoría.* UNESA.
- [28] *Norma tecnológica de la edificación ITE-ITA*
- [29] *Curso carnet instalador de baja tensión.* Página web automatismoiindustrial.com

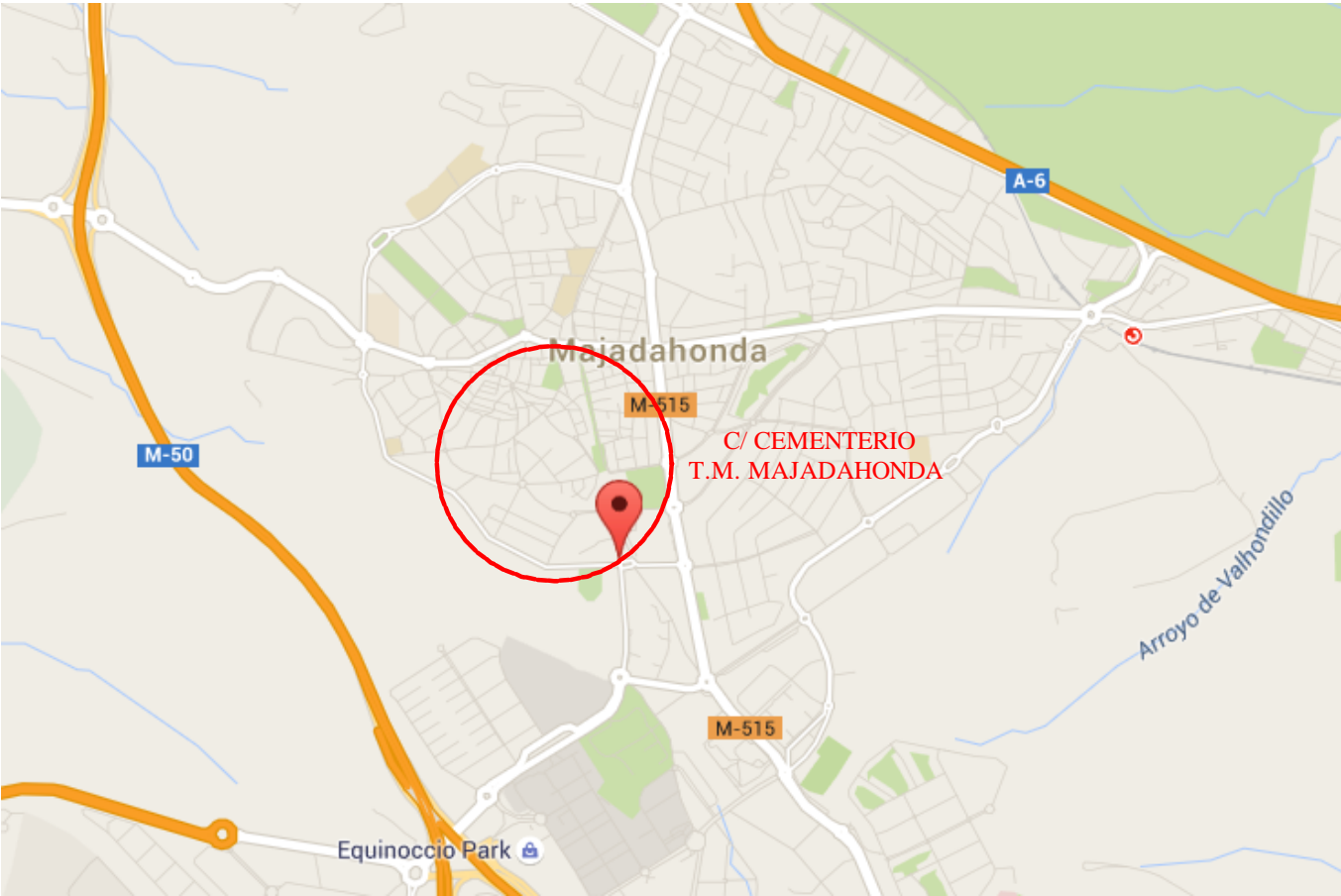




10 APÉNDICE

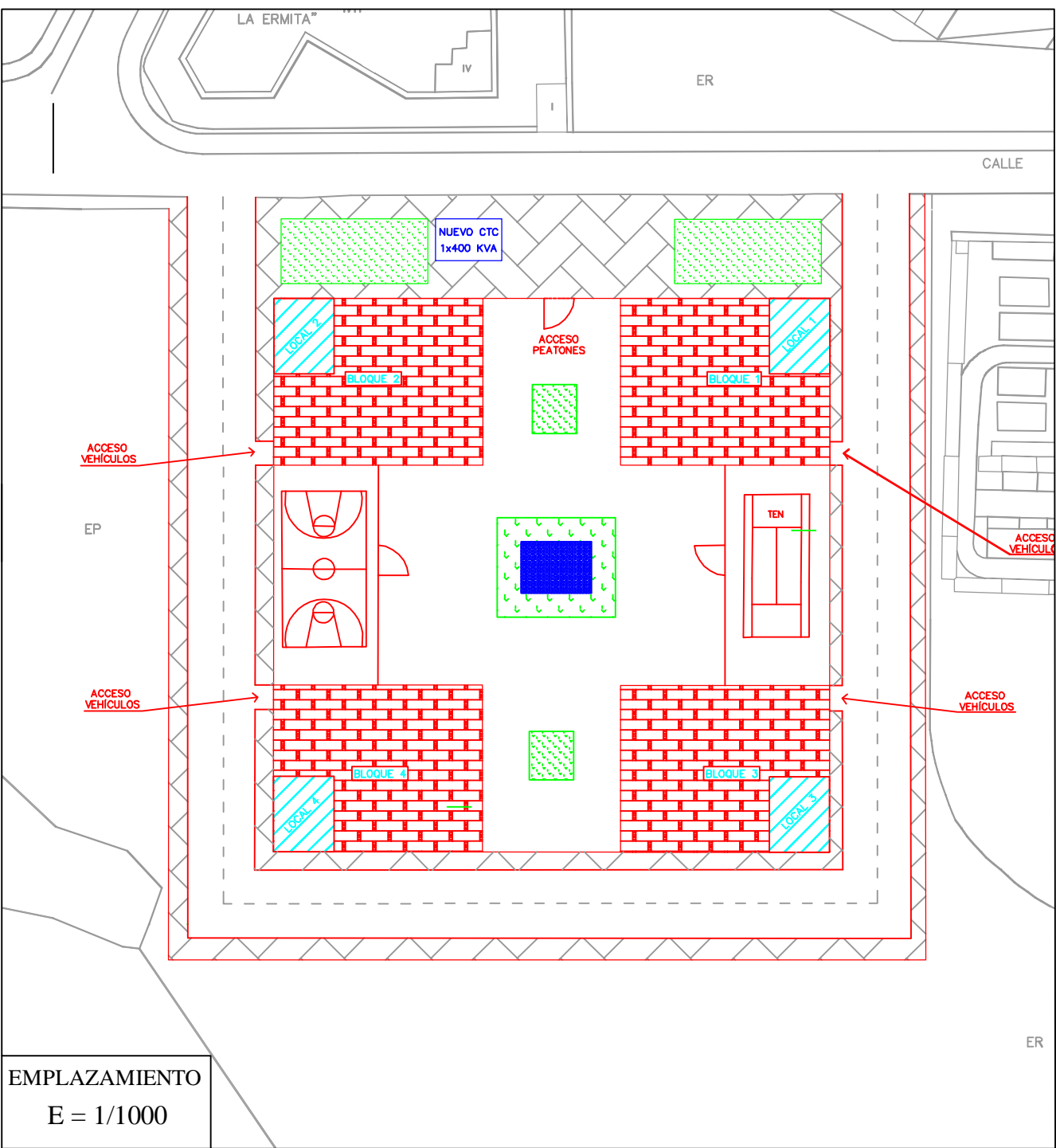
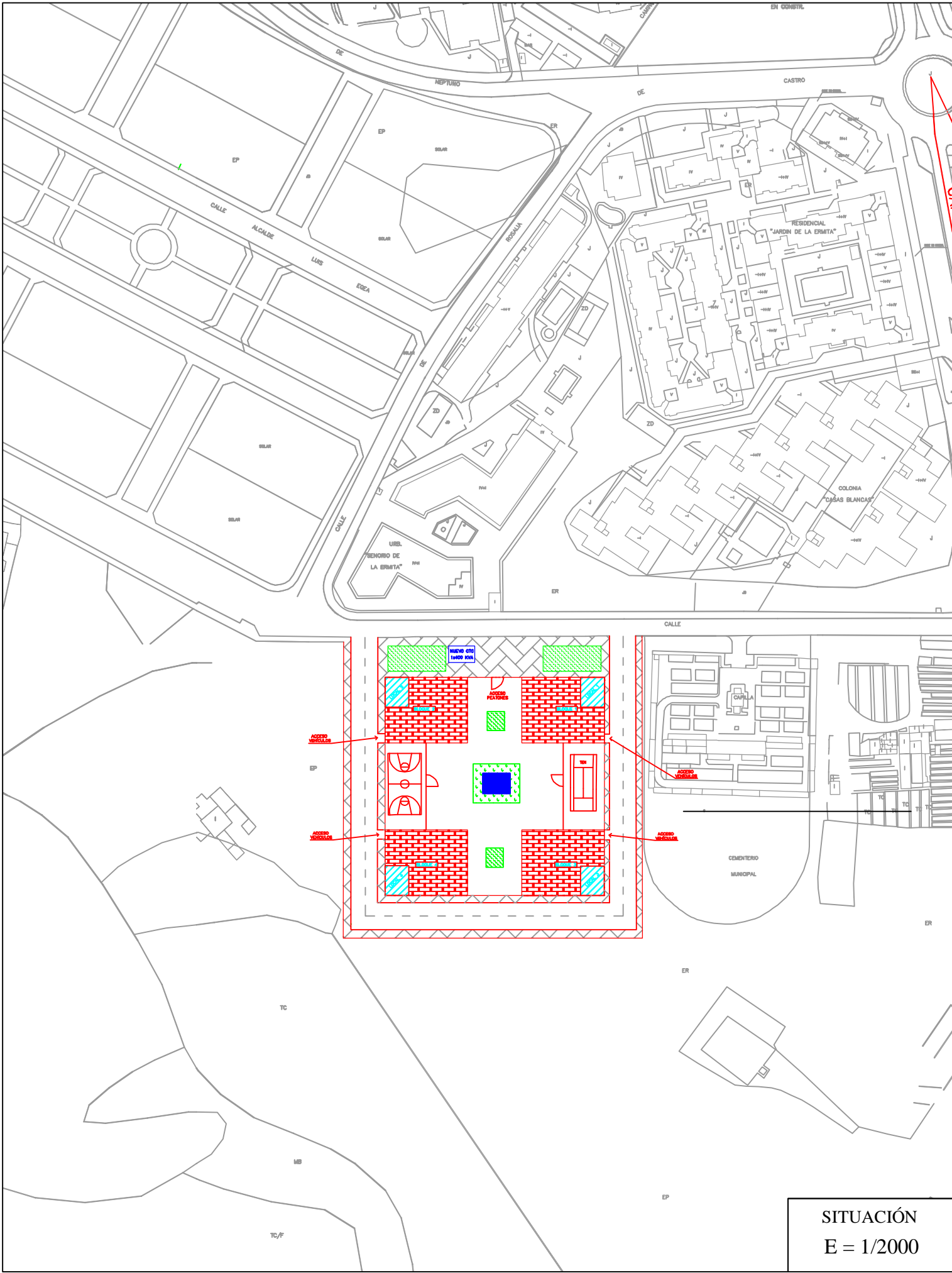
- Plano 01 – Localización.
- Plano02 - Situación y emplazamiento.
- Plano 03 – Planteamiento.
- Plano 04 – Canalización RSBT y Arquetas.
- Plano 05 – Canalizaciones RSMT.
- Plano 06 – CGP y CPM.
- Plano 07 - CT Cotas y Esquema.
- Plano 08 - CT Puestas a Tierra.



CONCRETA →

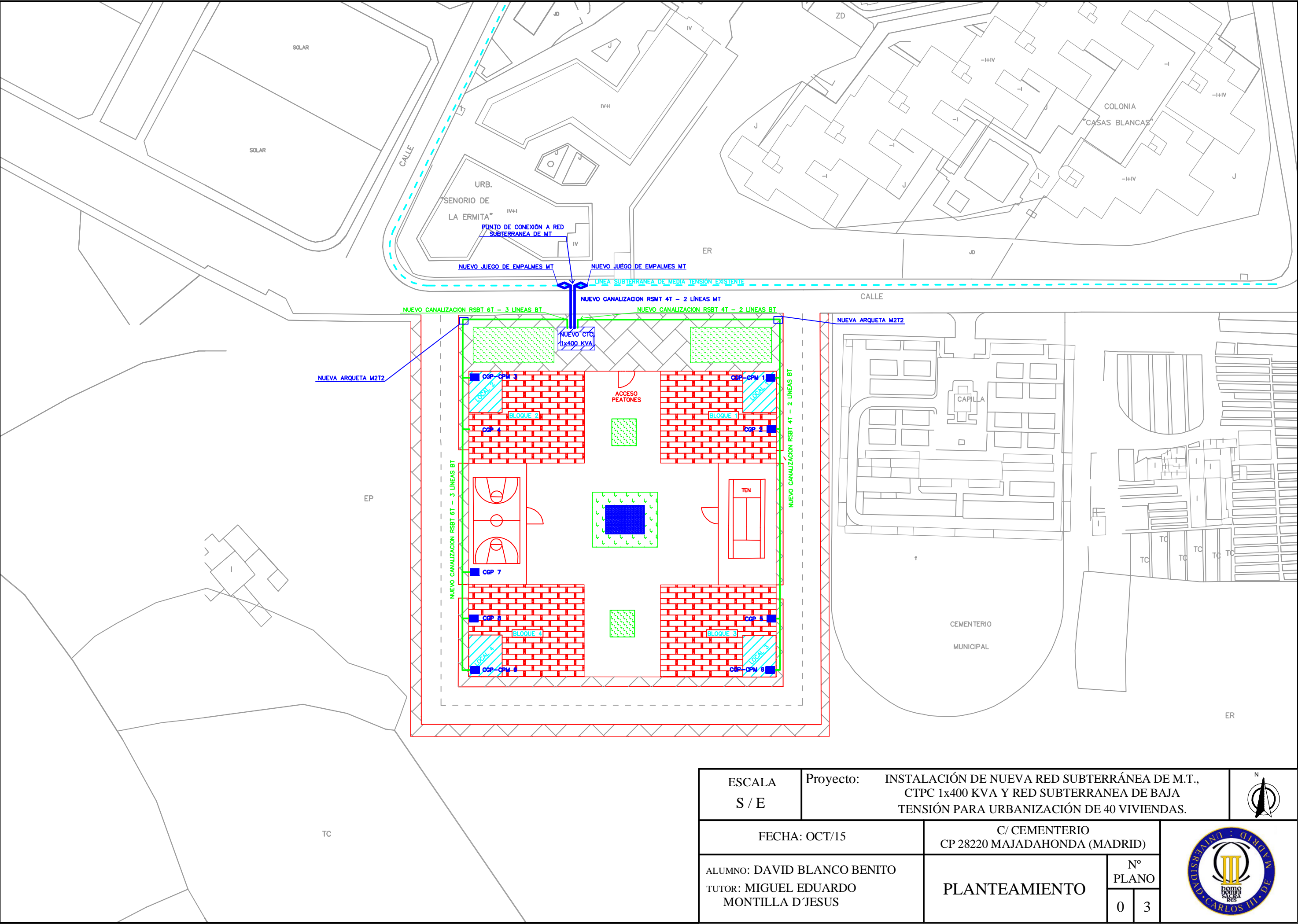
GENERAL ↓




ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSIÓN PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.				
FECHA: OCT/15		C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)			
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D'JESUS		LOCALIZACIÓN	Nº PLANO		
			0		1

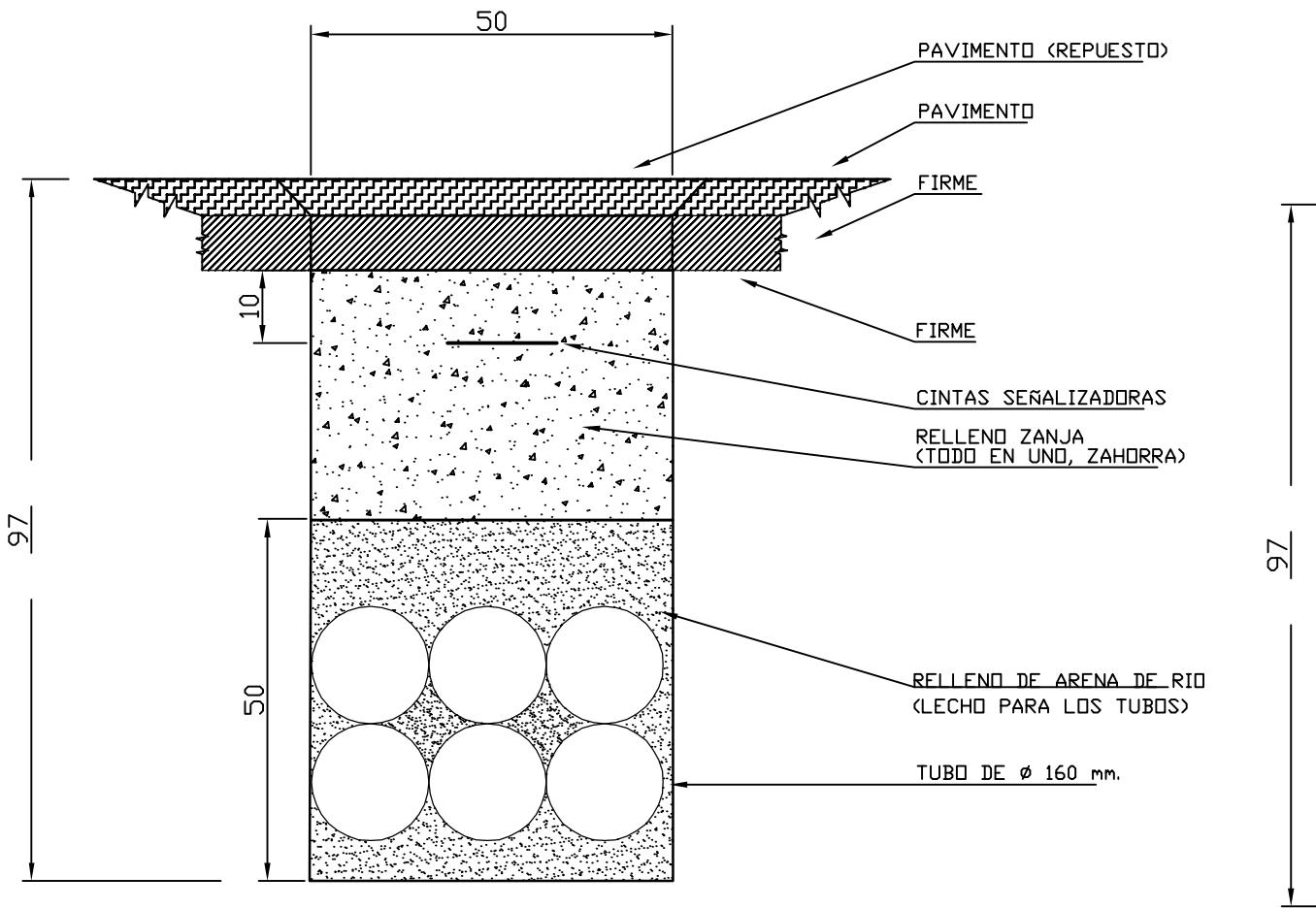


ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSION PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.				
FECHA: OCT/15		C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)			
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D JESUS		SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	Nº PLANO		
			0 2		

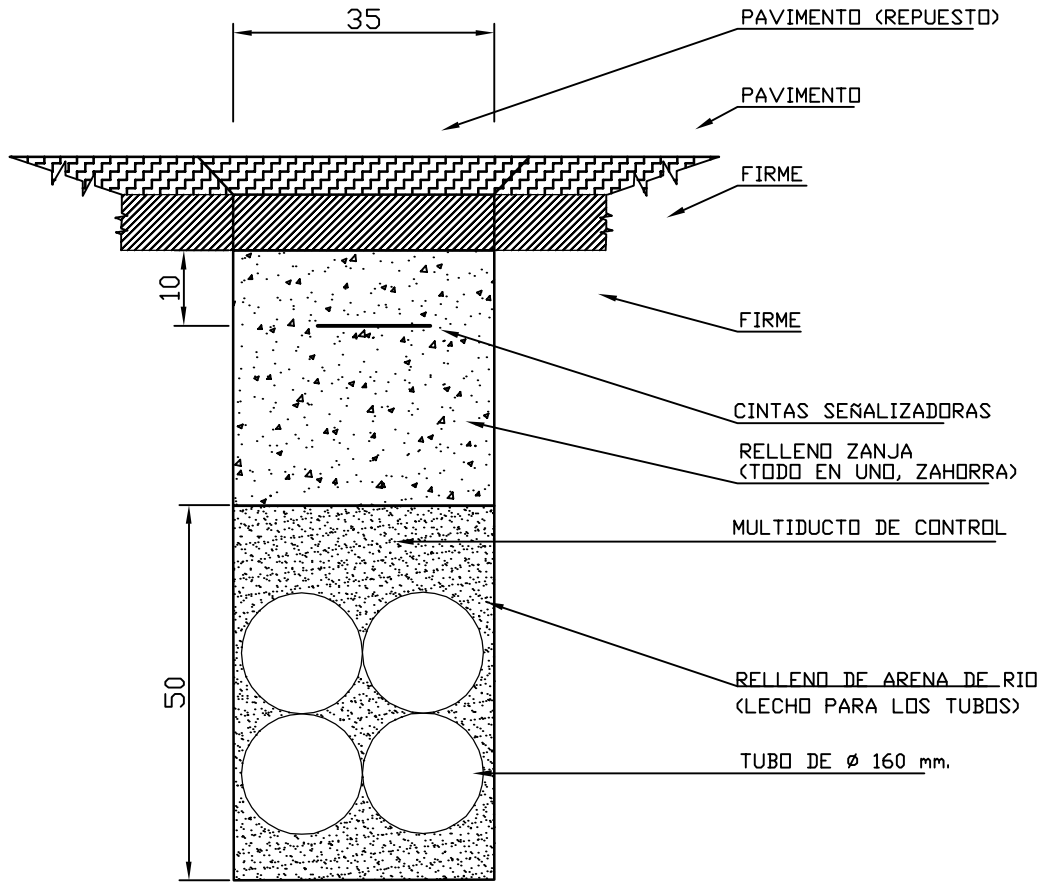


ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRÁNEA DE BAJA TENSION PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.		
FECHA: OCT/15		C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)	
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D'JESUS		PLANTEAMIENTO	
		Nº PLANO	0 3

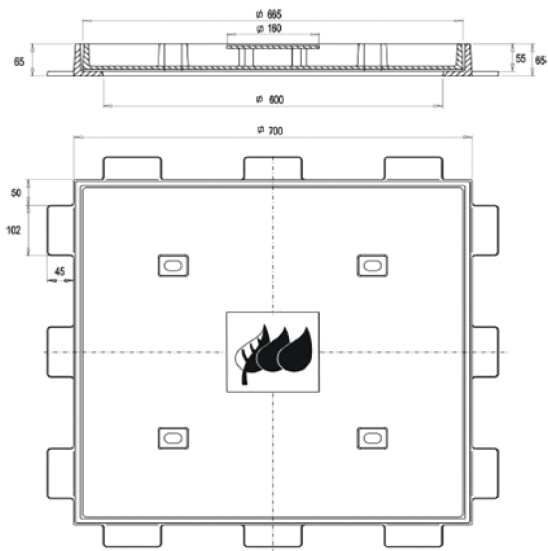
CANALIZACIÓN ENTUBADA
EN ACERA
6 TUBOS (EN 2 PLANOS)



CANALIZACIÓN ENTUBADA
EN ACERA
4 TUBOS (EN 2 PLANO)

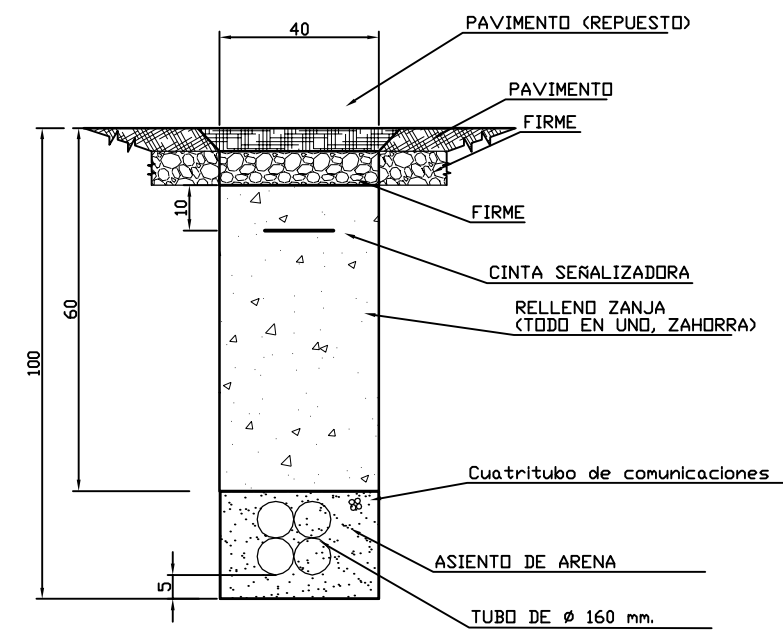


ARQUETA M2T2

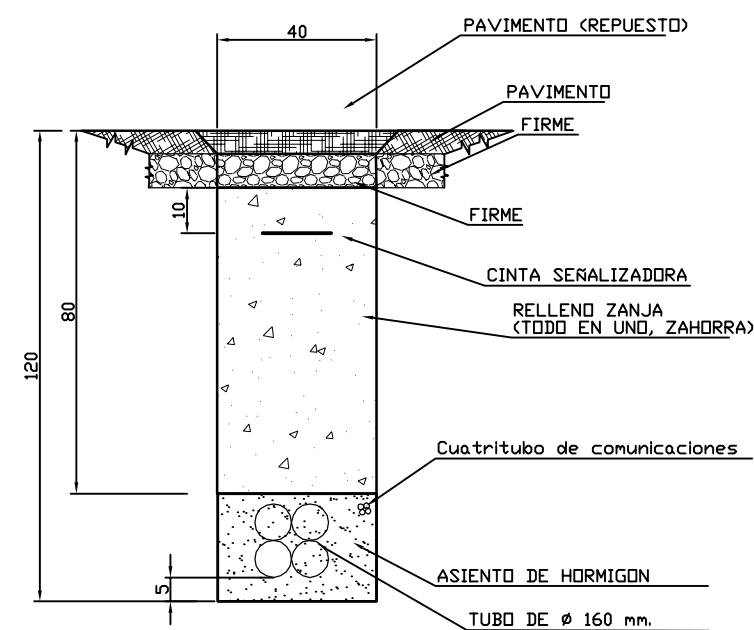


ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSIÓN PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.				
FECHA: OCT/15	C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)				
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D JESUS	CANALIZACION RSBT Y ARQUETA			Nº PLANO	
				0	X

CANALIZACIÓN ENTUBADA EN ACERA CON ASIENTO DE ARENA
4 TUBO + 1 CUATRITUBO (EN 2 PLANOS)



CANALIZACIÓN ENTUBADA EN ASFALTO CON ASIENTO DE HORMIGON
4 TUBO + 1 CUATRITUBO (EN 2 PLANOS)



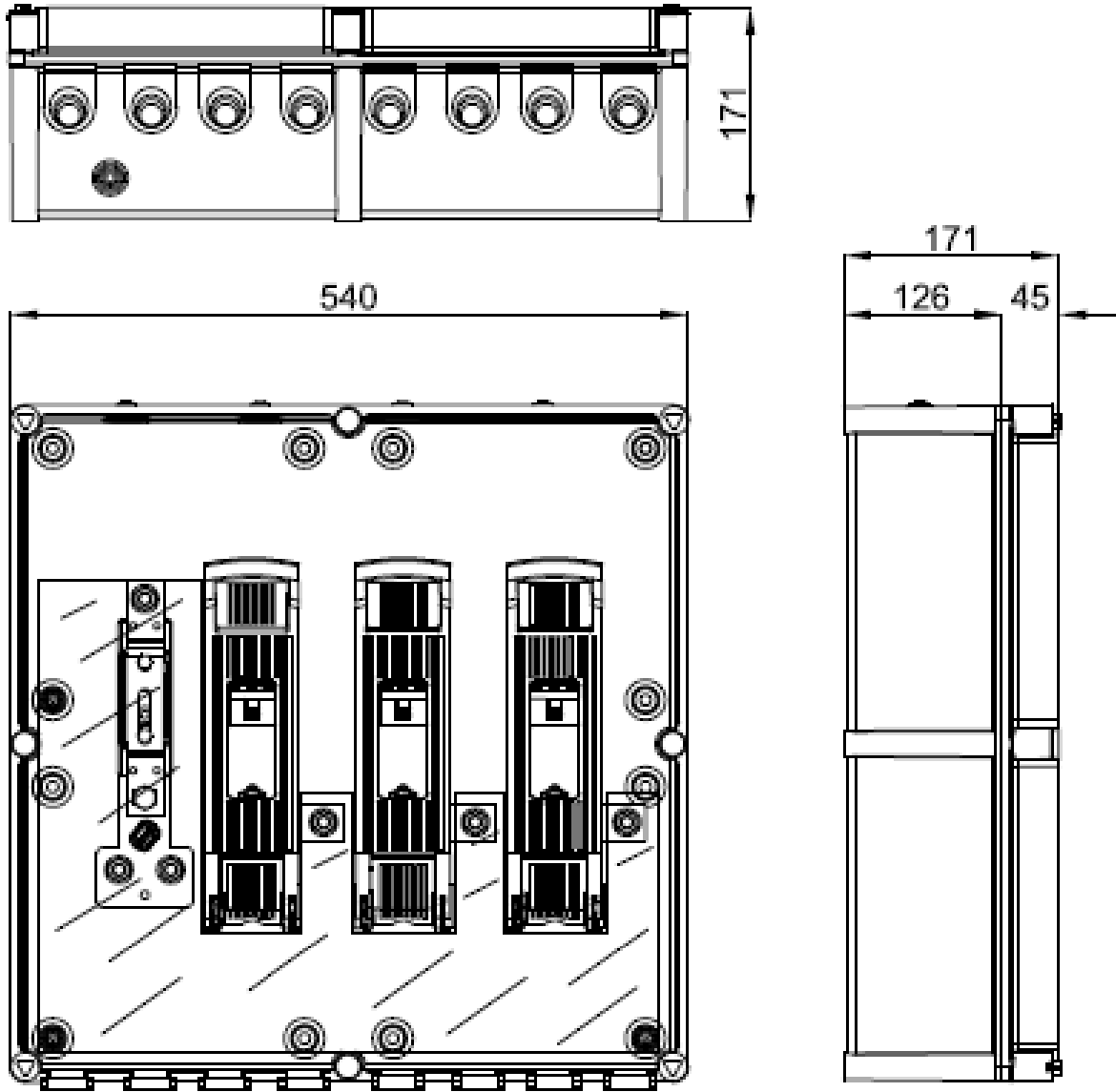
NOTA: Las canalizaciones se realizarán de tal modo que la profundidad mínima de los tubos será de:

0.60 m (hasta la generatriz superior del tubo más próximo a la superficie) Si discurren bajo acera

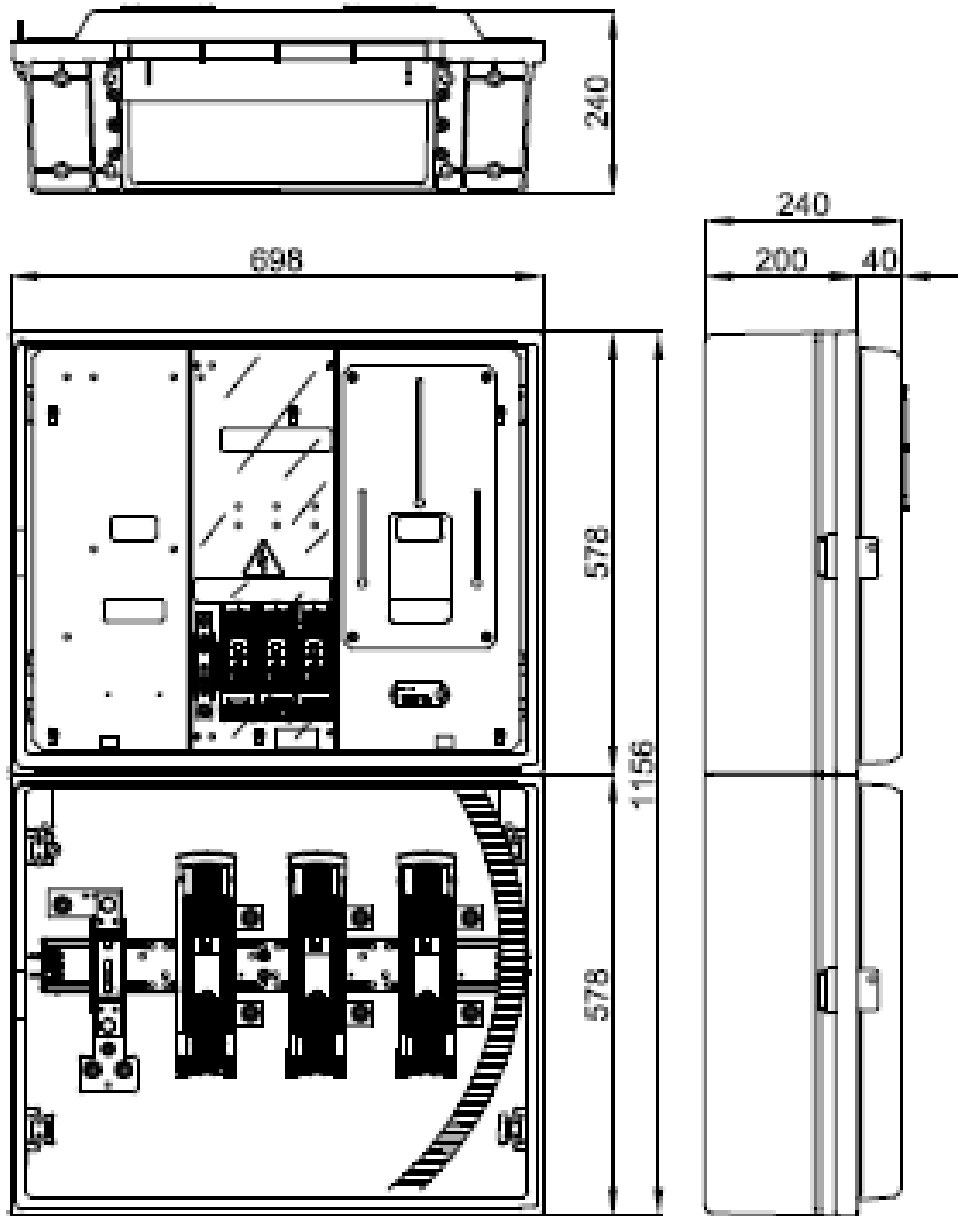
0.80 m (hasta la generatriz superior del tubo más próximo a la superficie) Si discurren bajo calzada



ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSIÓN PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.		
FECHA: OCT/15	C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)		
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D'JESUS	CANALIZACION RSMT		
		Nº PLANO	0 5

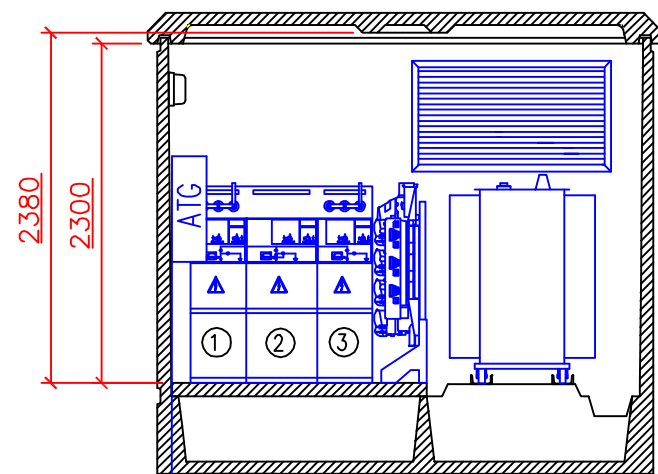
CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN



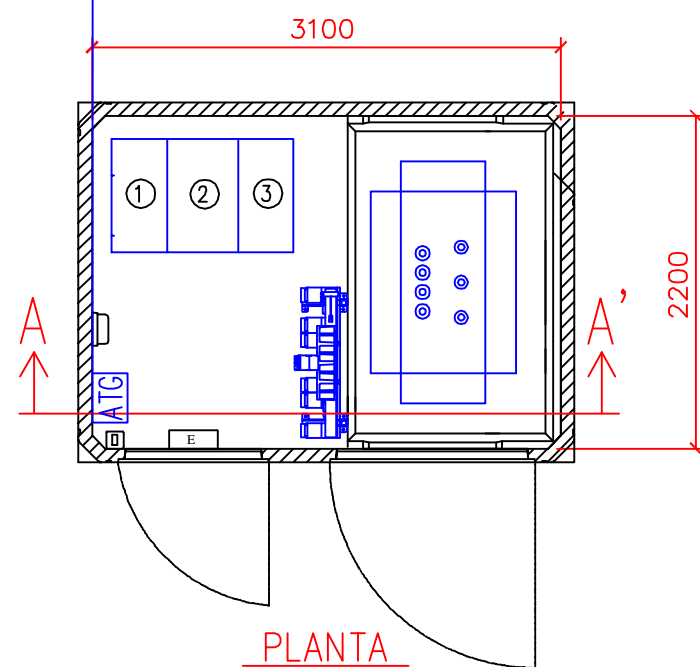
CAJA DE PROTECCIÓN Y MEDIDA



ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSIÓN PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.			
FECHA: OCT/15		C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)		
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D'JESUS		C.G.P. Y C.P.M.	Nº PLANO	
			0 6	

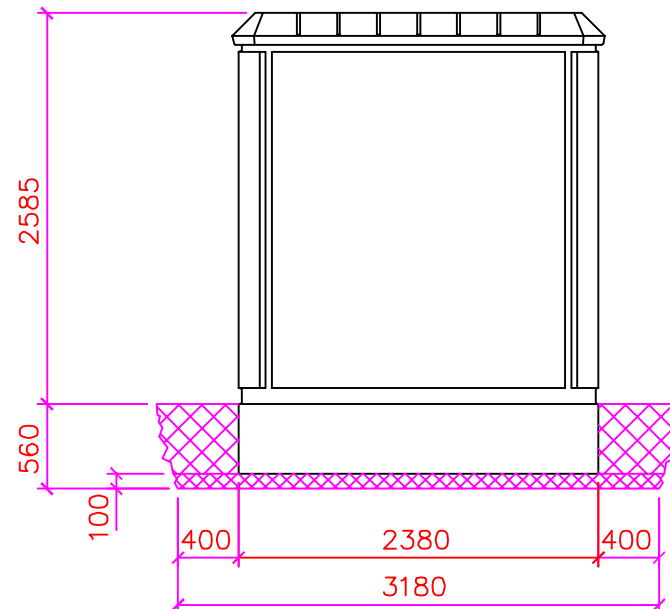


SECCION A-A'

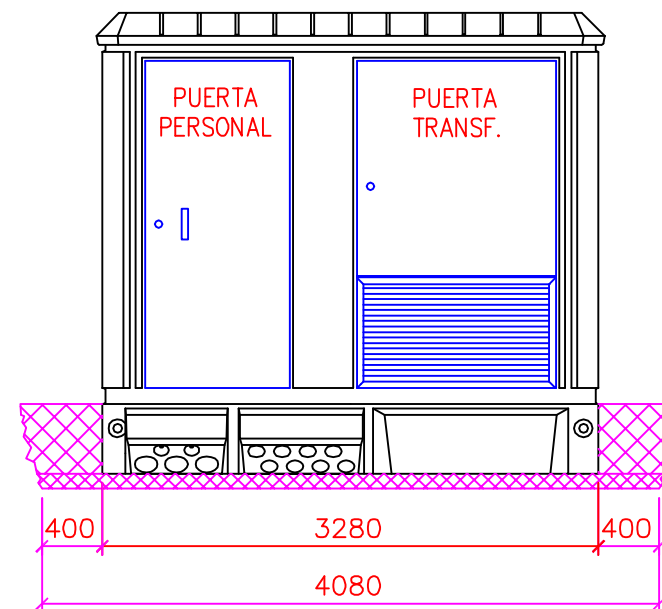


PLANTA

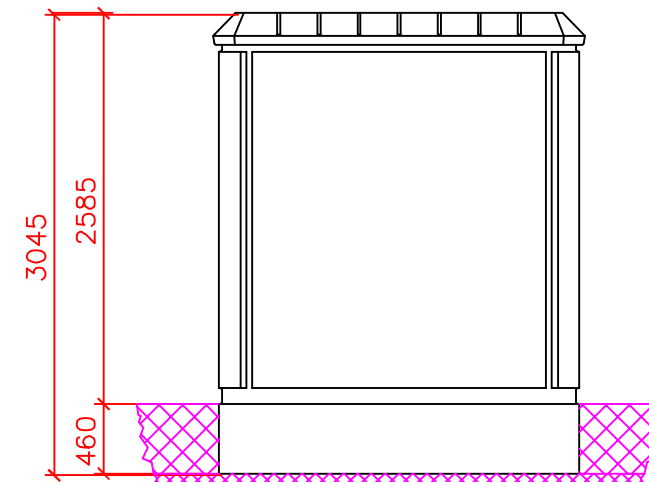
①



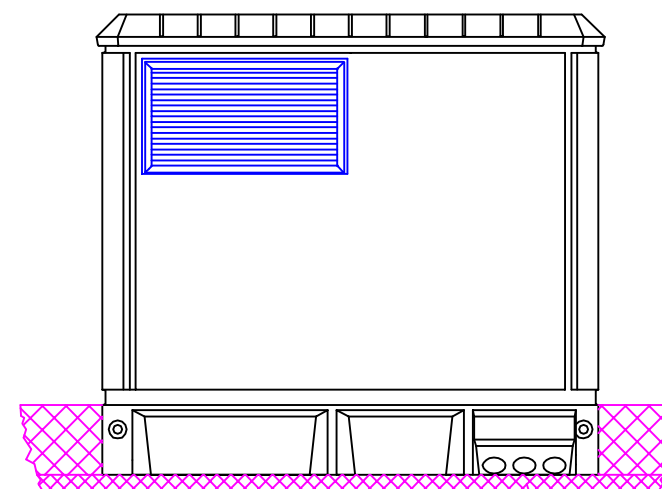
VISTA LATERAL
IZQUIERDA



VISTA FRONTAL



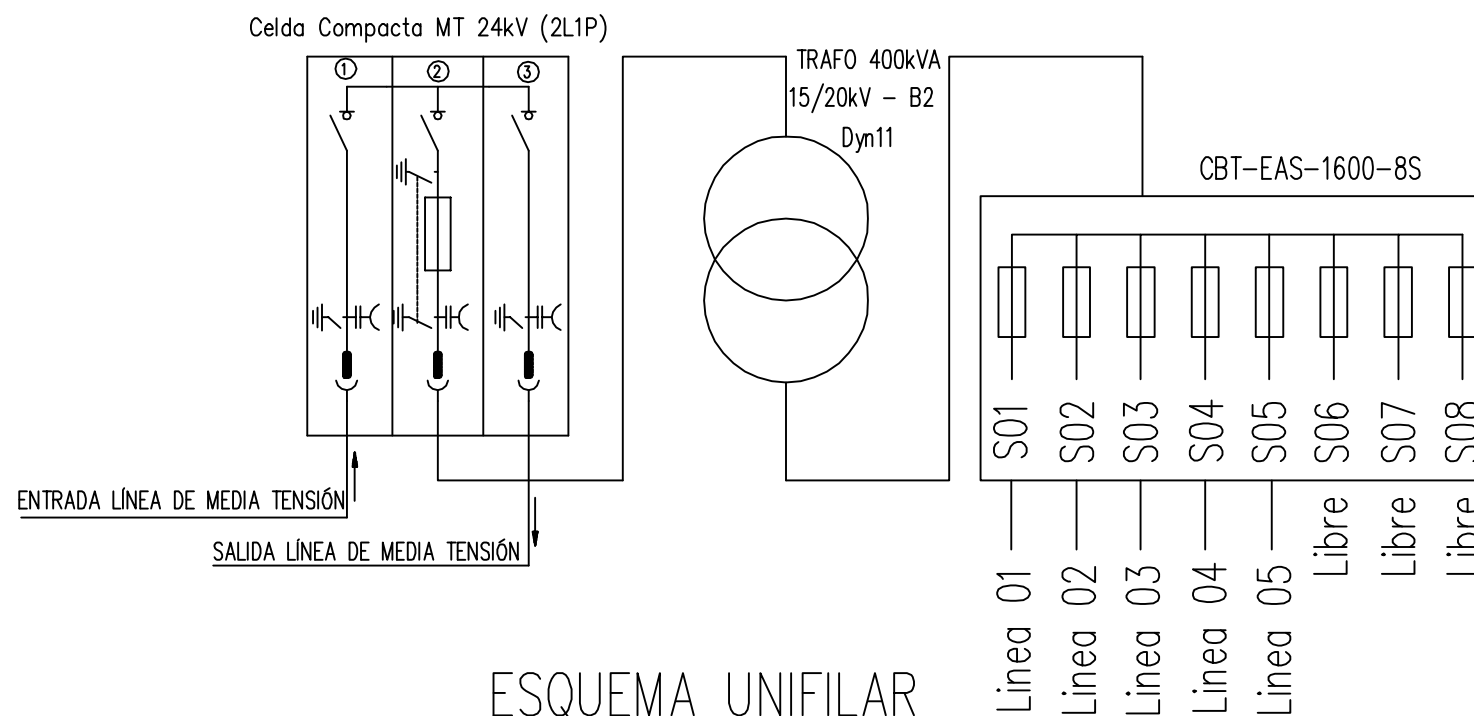
VISTA LATERAL
DERECHA



VISTA POSTERIOR

LEYENDA	
PLAFON 100 lm	
EMERGENCIA 70 lm	
INTERRUPTOR	

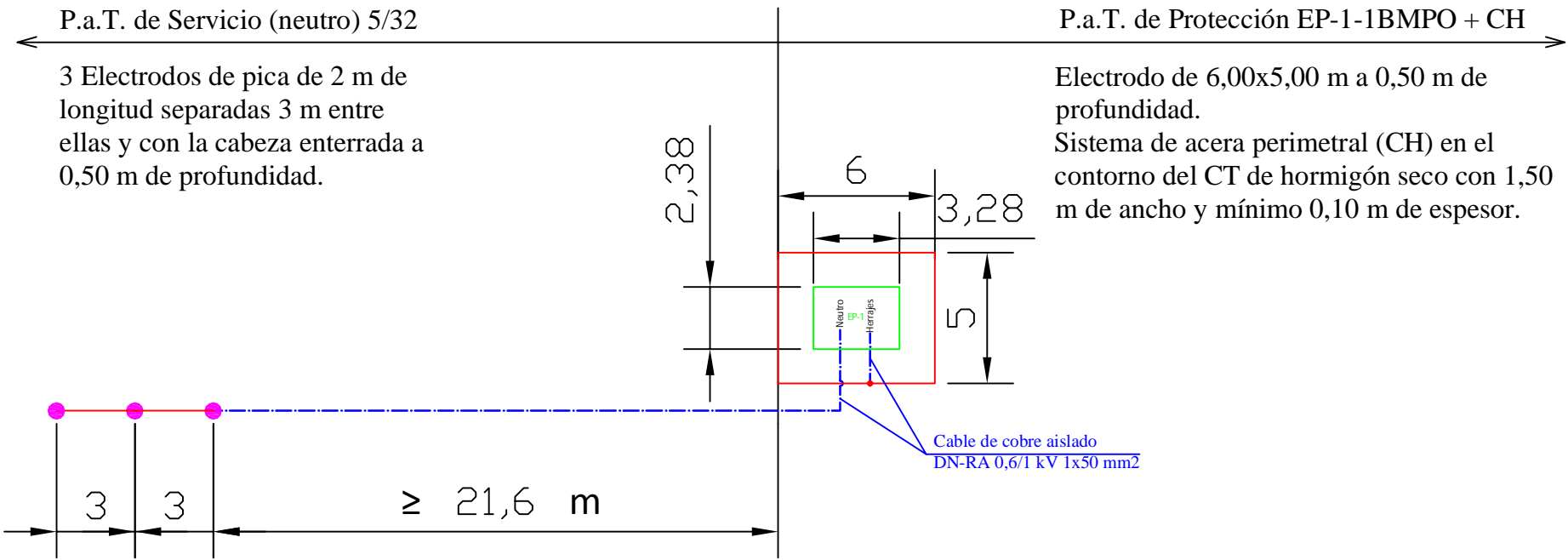
DIMENSIONES MINIMAS EXCAVACION
4.08 m long. x 3.18 m prof. x 0.56 m prof.



ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSIÓN PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.	
FECHA: OCT/15	C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)	
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D'JESUS	CT COTAS Y ESQUEMA	Nº PLANO 0 7

ESQUEMA PUESTAS A TIERRA DEL CT

Separación entre P.a.T. de Servicio y P.a.T.
de Protección mayor o igual a 21,6 metros s/MT 2.11.01



	Cable de cobre aislado DN-RA 0,6/1 kV 1x50 mm2
	Cable de cobre desnudo 1x50 mm2
	Pica de acero cobrizada tipo PL 14-2000
	Planta del nuevo CT

ESCALA S / E	Proyecto: INSTALACIÓN DE NUEVA RED SUBTERRÁNEA DE M.T., CTPC 1x400 KVA Y RED SUBTERRANEA DE BAJA TENSIÓN PARA URBANIZACIÓN DE 40 VIVIENDAS.		
FECHA: OCT/15	C/ CEMENTERIO CP 28220 MAJADAHONDA (MADRID)		
ALUMNO: DAVID BLANCO BENITO TUTOR: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D JESUS	CT PUESTAS A TIERRA	Nº PLANO	
		0 8	

